

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-325329

(43)Date of publication of application : 25.11.1994

BEST AVAILABLE COPY

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 05-351052

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.12.1993

(72)Inventor : YODA HIROAKI
OSAWA YUICHI
TATEYAMA KOICHI
KONDO REIKO
IWASAKI HITOSHI

(30)Priority

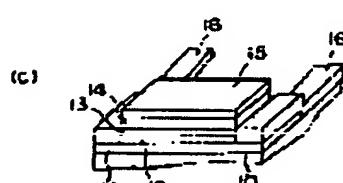
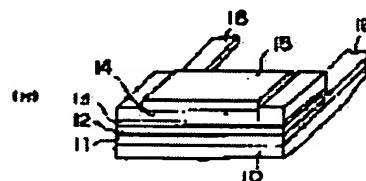
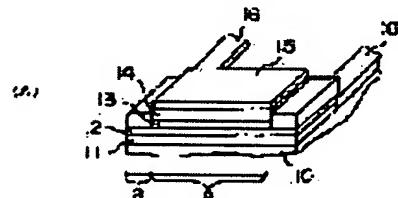
Priority number : 05 80161 Priority date : 15.03.1993 Priority country : JP

(54) THIN FILM MAGNETIC HEAD

(57)Abstract:

PURPOSE: To decrease the influence of crosstalk from adjacent tracks during an off-track state by forming such a structure that a nonmagnetic film is formed between two magnetic films and one of these magnetic films which responds to an external magnetic field is formed to have width smaller than the distance between leads.

CONSTITUTION: An antiferromagnetic film 11 such as Fern is formed on a substrate, on which a lower magnetic film such as NiFe, nonmagnetic film 13 such as Cu, and upper magnetic film 14 such as NiFe are formed. A protective film 15 such as Ti is formed on the upper magnetic film 14. A part of the nonmagnetic film 13, upper magnetic film 14, protective film 15 and lower magnetic film 12 is removed by etching in an area except for the active region. Leads 16 such as Cu/Cr are formed on the lower magnetic film 12 in an



area except for the active region. Since the magnetization of the lower magnetic film 12 is wholly fixed by the antiferromagnetic film 11 while the contact area B in the upper magnetic film 14 is removed by etching, the active region of the magnetoresistance effect element is limited to the area A between leads. Since recorded information is not detected in the contact area B, the contact area B can be made large.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3190193

[Date of registration] 18.05.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

特開平6-325329

(43)公開日 平成6年(1994)11月25日

(51)Int.Cl.⁵

G 11 B 5/39

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数8 FD (全38頁)

(21)出願番号 特願平5-351052
 (22)出願日 平成5年(1993)12月28日
 (31)優先権主張番号 特願平5-80161
 (32)優先日 平5(1993)3月15日
 (33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000003078
 株式会社東芝
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
 (72)発明者 奥田 博明
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
 (72)発明者 大沢 裕一
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
 (72)発明者 館山 公一
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内
 (74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

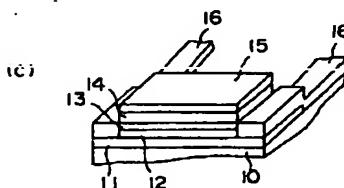
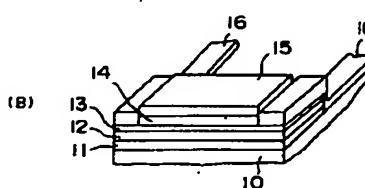
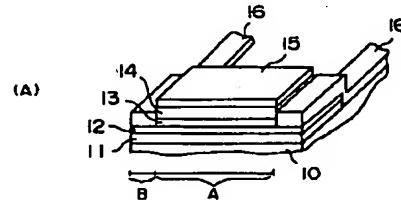
最終頁に続く

(54)【発明の名称】薄膜磁気ヘッド

(57)【要約】

【目的】本発明は、狭トラックとなつても高い感度を示す薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【構成】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁性膜のうち実質的に外部磁界に応答する磁性膜の幅がリード間距離以下であることを特徴とする。また、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、スピンドル依存散乱による磁気抵抗変化を利用した磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁気抵抗効果素子における実質的に信号磁界に応答する磁性膜の少なくとも一部が信号磁界と同じ方向に延出していることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁性膜のうち実質的に外部磁界に応答する磁性膜の幅がリード間距離以下であることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項2】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、スピニ依存散乱による磁気抵抗変化を利用した磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁気抵抗効果素子における実質的に信号磁界に応答する磁性膜の少なくとも一部が信号磁界と同じ方向に延伸していることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項3】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁性膜の一つがトラック幅方向に延出し、かつ、他の磁性膜の幅に対応する部分の厚さが他の部分よりも厚く形成されており、信号磁界が0の場合に前記磁性膜のそれぞれの磁化のトラック幅方向の成分が互いに反平行であることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項4】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜と、前記磁性膜の一つと交換結合した強磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記強磁性膜がトラック幅方向に延出し、信号磁界が0の場合に前記強磁性膜の磁化方向がトラック幅方向と略平行であることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項5】3層以上の奇数層の磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、信号磁界が0の場合に隣合う前記磁性膜の磁化方向が略反平行状態である磁気抵抗効果素子を具備し、トラック幅方向における前記磁気抵抗効果素子の両側に、それぞれトラック幅方向と略平行方向であって互いに略同一方向に磁化された2つのバイアス印加用の硬質磁性体が配置され、かつ、信号磁界0の場合に前記磁気抵抗効果素子における最上層および最下層の磁性膜と2つのバイアス印加用の硬質磁性体の磁化方向が略同一であることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項6】4層以上の偶数層の磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、信号磁界0の場合に隣合う前記磁性膜の磁化方向が略反平行状態である磁気抵抗効果素子を有し、トラック幅方向における前記磁気抵抗効果素子の両側に、それぞれ前記磁性膜の表面と略直交な方向であって互いに略反対方向に磁化された2つのバイアス印加用の硬質磁性体が前記磁気抵抗効果素子の両側に配置され、かつ、信号磁界0の場合に前記磁気抵抗効果素子における最上層および最下層の磁性膜と2つのバイアス印加用の硬質磁性体の磁化方向が時計回りまたは反時計回りの関係を満足することを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項7】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、抵抗変化を検知する

ためのセンス電流の方向が信号磁界方向と略平行である磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁気抵抗効果素子に少なくとも3つの電流端子がそれぞれ離隔して並設されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項8】少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、前記磁性膜の一つは信号磁界が印加されてもその磁化方向が実質的に保持される磁化固定膜である磁気抵抗効果素子を具備し、抵抗変化を検知するためのセンス電流は、前記センス電流による磁界の方向が磁化固定膜である磁性膜の磁化方向と略同一方向となるように通電されることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁気記録再生装置の再生ヘッドとして使用される薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、磁気記録の高密度化が進み、VTRでは 500Mb/inch^2 、HDDでは 200Mb/inch^2 という高記録密度のシステムが商品化されている。これらのシステムでは、主に誘導型の磁気ヘッドが用いられている。しかしながら、最近では、磁気抵抗効果素子を具備した磁気抵抗効果型の薄膜磁気ヘッドが、固定ヘッド方式のテープ媒体を再生するシステムだけでなく、相対速度が数メータ／秒と遅い相対速度をもつ小型HDDに対してもその高いS/N性から誘導型の磁気ヘッドに代わって用いられはじめている。

【0003】従来、磁気抵抗効果型の薄膜磁気ヘッドにおいて信号磁界を感知して抵抗が変化する部分（以下、MRエレメントと呼ぶ）には、NiFe合金（以下、パーマロイと省略する）が使用されている。パーマロイは、良好な軟磁気特性を有するものでも磁気抵抗変化率が最大で3%程度であり、小型化・大容量化された磁気記録媒体用のMRエレメントに用いる場合には磁気抵抗変化率が不充分である。このため、MRエレメント材料として、より高感度な磁気抵抗変化を示すものが望まれている。

【0004】これに対して、最近では2層構造の磁性膜において、2つの磁性膜の磁化のなす角に依存して電気抵抗が変化するスピニバルブ現象、あるいは多層構造の磁性膜において、隣合う磁性膜の磁化のなす角に依存して電気抵抗が大きく変化する現象が報告されている。

【0005】このような、磁気抵抗効果素子の第1の例として、人工格子型と呼ばれるFe/CrやCo/Cu等の強磁性膜と非磁性膜をある条件で互いに積層してなる多層膜により、巨大な磁気抵抗変化、最大で100%を越える大きな磁気抵抗変化が現れることが知られている（Phys. Rev. Lett., Vol. 61, 2472(1988), Phys. Rev. Lett., Vol. 64, 2304(1990)）。また、非磁性膜の厚さを変化させると、磁気抵抗変化率が周期的に変化することが報

告されており、この変化は、非磁性膜の厚さにより磁性膜が周期的に強磁性結合もしくは反強磁性結合となるために生じると説明されている。多層膜の電気抵抗を結合状態で比較すると、反強磁性結合状態で高く、強磁性結合状態で低い。

【0006】一方、磁気抵抗効果素子において、反強磁性結合状態の高い磁気抵抗効果膜を用いると、その結合力が大きいことから飽和磁界が大きくなる。そこで、反強磁性結合状態を用いずに、磁化が平行である状態と反平行である状態の間で抵抗が異なることを利用する方式がいくつか報告されている。

【0007】すなわち、磁気抵抗効果素子の第2の例として、保磁力の異なる2種類の膜を用い、この保磁力の差を利用して両磁性膜の磁化を反平行状態にして磁気抵抗変化を実現した例がある（日本応用磁気学会誌 Vol. 15, No. 5 813(1991)、いわゆる新庄型）。

【0008】さらに、磁気抵抗効果素子の第3の例として、非磁性膜を挟んだ2つの磁性膜の一方に反強磁性膜による交換バイアスを及ぼして磁化を固定し、もう一方の磁性膜が外部磁界で磁化反転することにより、非磁性膜を挟んで磁性膜の磁化方向が互いに平行および反平行となる状態を作り出して、大きな磁気抵抗変化を実現した例がある（Phys. Rev. B., Vol. 45 806(1992), J. Appl. Phys., Vol. 69, 4774(1991)、いわゆるスピンドル型）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ここで、図68に従来の磁気抵抗効果素子を示し、その課題について説明する。

【0010】本発明の第1の課題は以下に示すものである。

【0011】従来の磁気抵抗効果素子は、例えば下地膜202a、軟磁性膜202b、非磁性膜202c、信号磁界に応答する透磁率の高い軟磁性膜202d、および保護膜202eが順次積層され、さらに、パターニングされた保護膜202e上にリード201が形成されてなるものである。このような構成においては、トラック幅に相当する領域Aの両端にリード201を接続するためのコンタクト領域Bを有する。ここで、コンタクト領域Bには、軟磁性膜202dが存在するため、この部分からも記録情報を感知する。このためオフトラックしたときに隣接トラックからの情報も混入し、S/Nも悪くなりトラック幅も明確にならない。例えば、200Mb/inch²の記録密度の場合、トラック幅は7μm、トラック間距離は2μm程度である。この場合、トラック幅は比較的大きく出力も大きいので、コンタクト領域Bを1μm程度以下に設定すれば、コンタクト領域Bは隣接トラック上には存在せず、トラック間距離1μm以下のオフトラックなら隣接トラックからの漏洩出力（クロストーク）も無視できた。

【0012】しかしながら、例えば面密度10Gb/inch

²では、トラック幅が1μm、トラック間距離が0.2μm程度になるため、出力自体も小さくなり、オフトラック時にコンタクト領域Bが隣接トラック上に存在することになり、隣接トラックからの漏洩出力も無視できない。これを避けるためには、コンタクト領域Bをトラック間距離である0.2μm程度に小さくすればよいが、量産に際しオーミックコンタクト不良が発生しやすくなる。

【0013】上述したように、面密度が10Gb/inch²に近づくにつれて、オフトラック時のコンタクト領域Bでの隣接トラックからの漏洩出力が無視できなくなり、それを避けようとコンタクト領域Bの面積を小さくするとオーミックコンタクトをとることすら難しくなるという問題がある。

【0014】本発明の第2の課題は以下に示すものである。

【0015】従来からの異方性磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果素子において、トラック幅を正確に規定する方法としては、図69に示すように、軟磁性膜202dのトラック幅に相当する領域を信号磁界の流入方向に延出させる方法である。この場合、磁気抵抗効果素子の信号磁界方向の反磁界が低減されて透磁率が高くなるので、信号磁界に対する感度が向上する。さらに、同様の感度向上の観点から磁気抵抗効果素子の一部を信号磁界の流入方向と反対方向に延出させる方法も知られている。しかしながら、いずれの場合においても、図69に示すように、抵抗変化を検知するためのセンス電流が湾曲して流れるために、センス電流と磁化のなす角に応じて抵抗が変化する異方性磁気抵抗効果を利用した薄膜磁気ヘッドにおいては、信号磁界に応答して磁気抵抗変化膜の磁化方向が変化しても抵抗変化率が不充分で、安定した出力が得られない。特に、トラック幅が狭くなるにしたがってセンス電流の湾曲が大きくなるため、安定した出力を得ることが極めて困難になるという問題がある。

【0016】本発明の第3の課題は以下に示すものである。

【0017】従来の磁気抵抗効果素子には、図70(A)および図70(B)に示すような非磁性膜を挟持した2つの磁性膜からなり、センス電流を信号磁界方向に通電し、センス電流による磁界をバイアス磁界として磁性膜に印加するタイプがある（J. Appl. Phys. 53(3), 2596, 1982）。図70中205は下磁性膜、206は非磁性膜、207は上磁性膜、208a, 208bはリードをそれぞれ示す。同図において、センス電流は、例えばリード208aより入り、208bより流れ出る。このような構成の磁気抵抗効果素子は、センス電流により発生する磁界の影響を受ける。上磁性膜207には下磁性膜205と非磁性膜206に流れる電流による磁界が印加されるものと考えて、各層の膜厚が伝導電子の平均自

由行程以下の場合におけるセンス電流による磁界の大きさは以下の式（1）で求められる。なお、平均自由行程は、バルク状のCuの場合、300Kで約300オングル

$$H_{x1} \sim J * (t + d) / 2$$

例えば、電流密度 $J = 2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 、下磁性膜205の厚さ $t = 20 \text{ オングル}$ 、非磁性膜206の幅 $d = 50 \text{ オングル}$ のとき、 $H_x \sim 700 \text{ (A/m)} = 9 \text{ (エルステッド)}$ となる。

【0019】また、下磁性膜205にかかる磁界 H_{x2} は上磁性膜207と非磁性膜206に流れる電流に起因するものであるので $H_{x2} = -H_{x1}$ となる。

【0020】したがって、このような条件では上磁性膜207と下磁性膜205の磁気モーメントは、各層の異方性磁界がパーマロイ薄膜のように小さい場合（～3エルステッド）には磁化は反平行になる。しかしながら、素子エッジ部では、反磁界の影響でエッジカーリングウォールと呼ばれる磁壁が存在し（IEEE Trans. Magn., Vol. 1.24, No. 3, May 1988）、実質上この部分がデッド領域

$$\pi \Delta / 2 = (\pi^3 M_s * d * t / (2 * H_k))^{0.5} \quad \dots (2)$$

ここで、 M_s は飽和磁化、 H_k は異方性磁界の大きさを表す。例えば、上記の素子構成で、 $H_k = 3 \text{ エルステッド}$ 、 $M_s = 800 \text{ G}$ の場合には、 $\pi \Delta / 2 = 0.2 \mu \text{m}$ となる。センス電流を流した場合は式（2）の H_k は $H_k + H_x$ となるので、 $\pi \Delta / 2 = 0.1 \mu \text{m}$ となる。

【0024】面密度 10 Gb/inch^2 の超高密度磁気記録の場合、1ピット当たりの面積は約 $0.07 \mu \text{m}^2$ となり、トラック幅は $1 \mu \text{m}$ 以下になる。このとき、素子の寸法も同程度（ $1 \mu \text{m}$ 角）のディメンションとなる。よって、エッジカーリングウォールの幅が素子全体に占める割合が 20% にもなり、素子の 80% しかアクティブな領域として使用できないという問題が生じる。この問題は、磁性膜が 2 つの場合だけではなく、磁性膜と非磁性膜を交互に積層した場合も同様に問題となる。

【0025】上述したように、磁性膜と非磁性膜が交互に積層されてなる磁気抵抗効果素子においては、各層の磁気モーメントが素子端部において端部に対して平行になろうとし、エッジカーリングウォールが発生する。素子が微細化されるとこのエッジカーリングウォールの素子全体に占める割合が大きくなる。また、極端な場合には、中央部付近の磁化も端部に対して平行な成分をもつようになる。このため、磁気抵抗効果素子の再生出力が低下するという問題がある。

【0026】なお、反強磁性膜を前記磁気抵抗効果素子の少なくとも片側に配置して、幅方向に一軸性を付与すればエッジカーリングウォールはなくなるが、実際開発されている FeMn 系の反強磁性膜は耐食性が非常に悪いので、この反強磁性膜が外界に露出するような構成を探ることはできない。

【0027】本発明の第4の課題は以下に示すものである。

ストロームである。

【0018】

… (1)

となる。

【0021】このような磁気抵抗効果素子においては、各層内の磁気モーメントが層内で一様であれば素子のもの力を最大限に利用できる。しかしながら、エッジカーリングウォールが存在すると、磁気モーメントが一様にならず、その部分では信号磁界に対する応答性が悪くなる。したがって、磁気抵抗効果素子の再生出力はエッジカーリングウォールの存在する割合だけ低下することになる。

【0022】素子の幅方向に磁気異方性を付与した場合、このエッジカーリングウォールの幅は以下の式（2）により求められる（IEEE Trans. Magn., Vol. 24, No. 3, May 1988）。

【0023】

$$\pi \Delta / 2 = (\pi^3 M_s * d * t / (2 * H_k))^{0.5} \quad \dots (2)$$

【0028】従来のパーマロイ等を使用した磁気抵抗効果素子の場合、磁性膜に現れる磁区の不可逆的な運動に起因するバルクハウゼンノイズの発生が実用上の問題となっている。これを防ぐための技術としては、FeMn 等の反強磁性膜を積層して交換バイアスを得ることや、素子の両端の近傍に磁性体を配置すること等により磁性膜を単磁区化することが提案されている（IEEE MAG-14, 521(1978)，特開昭64-1112号）。

【0029】しかしながら、従来は、単層または各磁性膜の磁化が同じ向きである多層の磁性膜に対して、上述したように、一方向のバイアス磁界を印加して単磁区化することは試みられているが、磁性膜が 3 層以上になり各磁性膜の磁化が同じ向きではなく、例えば反平行状態である場合に各磁性膜を単磁区化する技術は未だ報告されていない。

【0030】本発明の第5の課題は以下に示すものである。

【0031】図 70 に示すように、信号磁界方向と抵抗変化を検知するためのセンス電流の方向が略平行である従来の薄膜磁気抵抗効果素子の場合、磁束密度が最も高い媒体対向面側にリードが配置されるので、通常磁気抵抗効果素子の長さを信号磁界方向と同じ方向に $10 \mu \text{m}$ 程度とり、磁気抵抗効果素子の透磁率を高くして信号磁界方向の反磁界を低減させている。したがって、磁気抵抗効果素子の信号磁界方向の長さが、それと直交するトラック幅方向よりも長くなっている。しかしながら、記録媒体より媒体対向面から離れるにつれ、磁気抵抗効果素子に流入した磁束は漏洩するので、磁気抵抗効果素子において抵抗が変化するのは、媒体対向面より $1 \sim 2 \mu \text{m}$ の領域のみとなり、感度が低下するという問題がある。また、磁気抵抗効果素子の長さを $10 \mu \text{m}$ 程度と大

きくとっているので、抵抗値が大きくなり、これに伴って発熱によるジョンソンノイズが大きくなる。

【0032】本発明の第6の課題は以下に示すものである。

【0033】上述したスピンドル型の磁気抵抗効果素子では、上磁性膜の磁化は上磁性膜上に形成された例えばFeMn等の反強磁性膜と交換結合させて磁化固定せしめる一方、下磁性膜の磁化を信号磁界で磁化反転させて隣合う磁性膜の磁化を互いに平行状態または反平行状態として抵抗変化を検知することが行われている。

【0034】しかしながら、このように反強磁性膜による交換バイアスを及ぼし、磁気抵抗効果素子における2つの磁性膜の一方を磁化固定膜とした場合は、従来 10^6 A/cm²以上の大電流を通電して抵抗変化率を測定すると、発熱によりたびたび抵抗変化率が著しく低下するという問題がある。

【0035】本発明は上記第1～第6の課題を鑑みてなされたものである。

【0036】すなわち、本発明の第1の発明は、トラック幅を厳密に規定でき、オフトラック時の隣接トラックからのクロストークの影響が小さく、しかもリードとのオーミックコンタクトも良好な磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0037】本発明の第2の発明は、感度が良好で、しかも安定した出力が得られる磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0038】本発明の第3の発明は、エッジカーリングウォールがなく、大きな出力が得られる磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0039】本発明の第4の発明は、バルクハウゼンノイズの少ない、3層以上の磁性膜を有する磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0040】本発明の第5の発明は、センス電流が信号磁界方向に通電されても感度が良好で、かつ発熱によるジョンソンノイズの小さい磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0041】本発明の第6の発明は、大電流が通電されても発熱による抵抗変化率の低下がほとんどない、磁化固定膜を有する磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0042】

【課題を解決するための手段および作用】上記目的を達成するためになされた本発明は、スピンドル型、新庄型または人工格子型の磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドに関するものであって、基板上に、少なくとも磁性膜、非磁性膜、および磁性膜が順次積層されてなる基本構造を有している。ここで、前記磁性膜の材料としては、特に規定されない限り、Co、CoFe、Co

Ni、NiFe、センダスト、NiFeCo、Fe_xN等を挙げることができる。さらに、Co_{100-x}Fe_x (0 < x ≤ 40原子%) からなる磁性膜は、抵抗変化率が大きくかつ低Hcを示すので好ましい。磁性膜の膜厚は1～20nmであることが好ましい。なお、本発明において前記磁性膜は、強磁性、フェリ磁性のいずれを示すものであってもよい。また、非磁性膜の材料としては、Mn、Fe、Ni、Cu、Al、Pd、Pt、Rh、Ru、Ir、Au、またはAg等の非磁性金属やCuPd、CuPt、CuAu、CuNi合金等を挙げができる。非磁性膜の膜厚は0.5～20nmであることが好ましく、0.8～5nmであることが特に好ましい。

【0043】さらに、本発明の薄膜磁気ヘッドは、上述したような磁性膜と非磁性膜が交互に複数周期に順次積層された構造を有する磁気抵抗効果素子を具備するものであってもよく、また、ここでの磁気抵抗効果素子は、前記磁性膜と交換結合する強磁性膜、反強磁性膜等を有していても構わない。

【0044】本発明の薄膜磁気ヘッドの磁気抵抗変化素子の信号磁界に対する応答は、磁界に対して線形ではない。もし信号処理の都合上、線形性が要求される場合には、センス電流に平行な方向にバイアス磁界をかける手段を設けることが必要となる。また、磁化容易軸がセンス電流と平行な向きの場合には、センス電流による磁界が作用すると、2つの磁性膜の磁化は互いに逆向きに磁化容易軸からある角度だけ磁化回転する。この角度は、磁性膜の異方性磁界、センス電流による磁界、および反磁界のバランスで決まる角度であり、0度から90度までの値をとることが可能である。信号磁界が作用すると、2つの磁性膜の磁化は平行になる向きに、互いに逆方向に回転し、電気抵抗は減少する。もし、磁気抵抗変化素子の信頼性から許される最大のセンス電流による磁界で、信号磁界が作用しないときの互いの磁化がなす角度が直角になっている場合には、信号磁界に対する電気抵抗変化の線形性がよい。

【0045】本発明では、2つの磁性膜の磁化は信号磁界が0の状態で互いに逆向きで容易軸方向を向き、電気抵抗が最大値をとる。したがって、磁気抵抗変化素子の可能な電気抵抗変化をすべて利用できるため、大きな出力を得ることができる。また、本発明の構成によれば、磁化回転を利用して磁界を検出するので高周波数での磁界検出が可能である。

【0046】以下、本発明の磁気抵抗効果素子を具体的に説明する。

【0047】本発明の第1の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁性膜のうち実質的に外部磁界に応答する磁性膜の幅がリード間距離以下であることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0048】第1の発明においては、実質的に信号磁界に応答する少なくとも1つの磁性膜がトラック幅で加工され、例えば、トラック幅より若干大きめの非磁性膜あるいは他の磁性膜のトラック幅以外の部分で、リードと磁気抵抗効果素子の電気的コンタクトをとることが好ましい。

【0049】また、すべての磁性膜および非磁性膜を厳密にトラック幅で加工し、磁化固定用の反強磁性膜や硬質磁性膜をトラック幅より若干大きめに加工し、前記反強磁性膜や硬質磁性膜のトラック幅以外の部分にリード（コンタクト領域）を設けることが好ましい。あるいは、例えば、導電性の下地膜を設け、リードとのコンタクト領域は少なくとも下地膜を残し、少なくとも軟磁性膜はコンタクト領域をエッチングにより除去することが好ましい。このような第1の発明では、リードは、実質的に信号磁界に応答する磁性膜の外側に配置される。

【0050】第1の発明では、磁気記録媒体の磁化情報に応答する領域は厳密にリード間のみとなる。これにより、トラック間距離よりも小さいオフトラックなら隣接トラックからのクロストークも無視できる程度に小さくでき、また、トラック幅を厳密に規定できる。

【0051】また、コンタクト領域は、完全に信号磁界に応答しないので、コンタクト領域を隣接トラック上まで伸びるほど大きくできる。これにより、上述のような適切な工程をとることにより、リードと磁気抵抗効果素子のオーミックコンタクトも確保することができる。

【0052】なお、第1の発明は、多層構造の磁気抵抗効果素子だけでなく、シャントバイアス方式の磁気抵抗効果素子にも適用することができる。

【0053】本発明の第2の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、スピニ依存散乱による磁気抵抗変化を利用した磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁気抵抗効果素子における実質的に信号磁界に応答する磁性膜の少なくとも一部が信号磁界と同じ方向に延出していることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0054】第2の発明において、信号磁界方向に延出した磁性膜は、少なくとも2つの磁性膜の一つと交換結合している強磁性膜であってもよいし、少なくとも2つの磁性膜の一つであってもよい。なお、信号磁界方向に延出した磁性膜は、記録媒体に向う方向（信号磁界流入方向）およびその反対方向のいずれに延出していてもよく、両方向に延出していてもよい。

【0055】また、第2の発明においては、信号磁界流入方向に延出した磁性膜を媒体対向面に露出させ、磁気抵抗効果素子を構成する他の層を媒体対向面からリセスさせることが好ましい。このとき、特にCu等からなる非磁性膜や必要に応じて形成される交換バイアス印加用のFeMn等からなる反強磁性膜等の耐食性の低い層を媒体対向面からリセスさせてヘッド内部に存在させ

ることが好ましい。さらに、やはり耐食性に問題のあるリードと磁気抵抗効果素子との電気的コンタクトを媒体対向面からリセスした層においてとることにより、リードをヘッド内部に存在させることが好ましい。

【0056】第2の発明では、信号磁界方向に延出した磁性膜の信号磁界方向の反磁界が低減されるので、得られる薄膜磁気ヘッドの感度が向上する。しかも、このとき、抵抗値がセンス電流と磁性膜の磁化のなす角に依存しないスピニ依存散乱による磁気抵抗変化を利用して、センス電流が湾曲して流れても常に安定した出力を得ることができる。さらに、特に実質的に信号磁界に応答する磁性膜以外の層に媒体対向面からリセスさせた構造にすれば、ヘッド外部に露出させると耐食性に問題のある反強磁性膜を用いたスピニバルブ型の磁気抵抗効果素子を具備した高感度の薄膜磁気ヘッドを高い信頼性で得ることができる。また、このとき、反強磁性膜とこれによって磁化が固定された磁性膜がヘッド内部に存在し、実質的に信号磁界に応答する磁性膜が媒体対向面で露出していれば、様々な素子構造、例えば磁性膜が3層以上の場合や、あらゆるバイアス方式（バルクハウゼンノイズ対策用）の構造に適用することができる。さらに、この構造により、狭トラックであってもトラック幅を正確に規定することができる。また、第2の発明においては、実質的に信号磁界に応答する磁性膜がトラック幅方向に延出していてもよい。

【0057】本発明の第3の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁性膜の一つがトラック幅方向に延出し、かつ、他の磁性膜の幅に対応する部分の厚さが他の部分よりも厚く形成されており、信号磁界が0の場合に前記磁性膜のそれぞれの磁化のトラック幅方向の成分が互いに反平行であることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0058】また、本発明の第3の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜と、前記磁性膜の一つと交換結合した強磁性膜とを有する磁気抵抗効果素子を具備し、前記強磁性膜がトラック幅方向に延出し、信号磁界が0の場合に前記強磁性膜の磁化方向がトラック幅方向と略平行であることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0059】すなわち、第3の発明の第1の態様においては、一部がトラック幅方向に延出した磁性膜の厚さを他の磁性膜の幅の部分だけ厚くする。したがって、磁性膜の厚さが変化する部分から漏洩磁路を発生させることができ、この磁界が他の磁性膜のトラック幅方向端部に印加されるので、他の磁性膜のエッジカーリングウォールを取り除くことが可能となる。

【0060】さらに、第3の発明の第2の態様においては、一部がトラック幅方向に延出した強磁性膜が、2つの磁性膜の1つと交換結合する。したがって、この強磁

性膜と交換結合した磁性膜のトラック幅方向の端部にバイアス磁界が印加されるので、磁性膜のエッジカーリングウォールを取り除くことが可能となる。ここで、2つの磁性膜の1つと交換結合する強磁性膜は、高い比抵抗を有していることが好ましい。なお、第3の発明では、一部がトラック幅方向に延出した磁性膜には、硬質磁性膜等によりトラック幅方向バイアス磁界が印加されることが好ましい。

【0061】第3の発明において、例えば、2つの磁性膜にトラック幅方向と略平行で互いに逆方向のバイアス磁界が印加される。このとき、少なくとも一方の磁性膜には、上述したように、トラック幅方向端部にもバイアス磁界が充分印加されるので、この磁性膜の端部に磁極がほとんど発生せず、反磁界がなくなり、エッジカーリングウォールが取り除かれる。したがって、素子幅が小さくなる、狭トラックとなつてもエッジカーリングウォールの発生を抑え、再生出力の低下を防止することができる。

【0062】本発明の第4の発明は、3層以上の奇数層の磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜を有し、信号磁界が0の場合に隣合う前記磁性膜の磁化方向が略反平行状態である磁気抵抗効果素子を具備し、トラック幅方向における前記磁気抵抗効果素子の両側に、それぞれトラック幅方向と略平行方向であつて互いに略同一方向に磁化された2つのバイアス印加用の硬質磁性体が配置され、かつ、信号磁界0の場合に前記磁気抵抗効果素子における最上層および最下層の磁性膜と2つのバイアス印加用の硬質磁性体の磁化方向が略同一であることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0063】また、本発明の第4の発明は、4層以上の偶数層の磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜を有し、信号磁界0の場合に隣合う前記磁性膜の磁化方向が略反平行状態である磁気抵抗効果素子を有し、トラック幅方向における前記磁気抵抗効果素子の両側に、それぞれ前記磁性膜の表面と略直交な方向であつて互いに略反対方向に磁化された2つのバイアス印加用の硬質磁性体が前記磁気抵抗効果素子の両側に配置され、かつ、信号磁界0の場合に前記磁気抵抗効果素子における最上層および最下層の磁性膜と2つのバイアス印加用の硬質磁性体の磁化方向が時計回りまたは反時計回りの関係を満足することを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0064】第4の発明において、磁性膜数が奇数の場合に各磁性膜を単磁区化するための手段としては、例えば磁性膜に隣接して設置された永久磁石による磁界が使用される。なお、このときセンス電流を信号磁界方向に通電し、永久磁石による磁界とこのセンス電流による電流磁界を組み合わせて使用してもよい。

【0065】一方、磁性膜数が偶数の場合に各磁性膜を単磁区化するための手段として、例えば磁性膜に隣接し

て配置された垂直磁化膜による磁界が使用される。また、この場合も信号磁界方向に通電されるセンス電流による電流磁界を併せて使用することが好ましい。

【0066】第4の発明では、各磁性膜には、永久磁石または垂直磁化膜からの一様磁界さらにはセンス電流による電流磁界と、他の磁性膜からの静磁界の和がバイアス磁界として印加される。したがって、永久磁石または垂直磁化膜から発生する磁界の強度や多層膜との距離間隔、センス電流の大きさ、多層膜の寸法等を制御して、永久磁石または垂直磁化膜からの一様磁界と電流磁界および静磁界とのバランスをとることによって、信号磁界が0の場合に磁化方向が互いに略反平行状態である各磁性膜に対してそれぞれの向きにバイアス磁界を印加することができ、各磁性膜を単磁区化することができる。

【0067】本発明の第5の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、抵抗変化を検知するためのセンス電流の方向が信号磁界方向と略平行である磁気抵抗効果素子を具備し、前記磁気抵抗効果素子上に少なくとも3つの電流端子がそれぞれ離隔して並設されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0068】第5の発明においては、隣合う電流端子間の磁性膜の2つの領域に流れる電流の方向が異なる場合と隣合う電流端子間の磁性膜の2つの領域に流れる電流の方向が同じ場合がある。ただし、磁性膜の単磁区化の観点から、隣合う電流端子間の磁性膜の2つの領域に流れる電流を同一方向とすることが好ましい。

【0069】第5の発明では、センス電流が信号磁界方向に通電され、記録媒体から磁気抵抗効果素子に流入する磁束の密度が最も高い媒体対向面側にもリードが配置され、実質上この部分がデッド領域となるので、磁気抵抗効果素子の信号磁界方向の長さをトラック幅方向の長さよりも長く設定することが好ましい。すなわち、上述したように、磁気抵抗効果素子の信号磁界方向の長さを長く設定することにより、実質的に信号磁界に応答する磁性膜の信号磁界方向の反磁界が低減され透磁率が向上する。ただし、このとき、磁気抵抗効果素子に流れた磁束は媒体対向面から離れるほど大きく漏洩するので、第5の発明においては、通常、隣合う電流端子間の磁性膜の2つの領域のうち媒体対向面側の領域に流れる電流で磁性膜の抵抗変化が検知される。

【0070】しかも、第5の発明では、磁気抵抗効果素子の媒体対向面と反対側にも第3番目の端子が設けられているので、磁性膜全体を単磁区化してバルクハウゼンノイズを取り除くことができ、感度向上を図ることができる。さらに、隣合う電流端子間の磁性膜の2つの領域のうち、抵抗変化を検知する領域と、抵抗変化を検知しない領域に流れる電流値をそれぞれ適宜制御することにより、発熱によるジョンソンノイズを抑えることも可能である。なお、第5の発明は、多層構造の磁気抵抗効果

素子だけでなく、シャントバイアス方式の磁気抵抗効果素子にも適用することができる。

【0071】本発明の第6の発明は、少なくとも2つの磁性膜と、前記磁性膜間に挟持された非磁性膜とを有し、前記磁性膜の一つは信号磁界が印加されてもその磁化方向が実質的に保持される磁化固着膜である磁気抵抗効果素子を具備し、抵抗変化を検知するためのセンス電流は、前記センス電流による磁界の方向が磁化固着膜である磁性膜の磁化方向と略同一方向となるように通電されることを特徴とする薄膜磁気ヘッドを提供する。

【0072】第6の発明において、磁化固着膜となる磁性膜は、例えば反強磁性膜との交換結合によって磁化固着され、他の磁性膜が信号磁界に応答する磁界検出膜となる。このとき、信号磁界が0の場合の2つの磁性膜の磁化方向を略直交とすることが好ましい。

【0073】第6の発明では、抵抗変化を検知するためのセンス電流は、このセンス電流が電流磁界の方向が磁化固着膜となる磁性膜の磁化方向と略同一方向となるように磁化固着膜となる磁性膜の磁化方向と略直交方向に通電される。したがって、打電粒が通電されたことに伴う発熱により、反強磁性膜等と磁化固着膜となる磁性膜との交換結合力が低下しても、磁化固着膜となる磁性膜には、その磁化方向と略同一方向に大きな電流磁界が印加されるので、磁化固着膜となる磁性膜の磁化方向が不安定となることに起因する抵抗変化率の低下を防止することが可能となる。

【0074】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して具体的に説明する。

実施例A

図1(A)は本発明の第1の発明の一実施例を示す斜視図である。図中10は基板を示す。基板10上には、FeMn等からなる反強磁性膜11あるいはCoPt等からなる硬質磁性膜が形成されている。反強磁性膜11上には、NiFe等からなる下磁性膜12、Cu等からなる非磁性膜13、およびNiFe等からなる上磁性膜14が形成されている。さらに、上磁性膜14上には、Ti、SiO₂等からなる保護膜15が形成されている。非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15、並びに下磁性膜12の一部は、能動領域以外の領域がエッチングにより除去されている。エッチングにより除去した能動領域以外の下磁性膜12上にCu/Cr等からなるリード16が形成されている。

【0075】図1(A)に示す磁気抵抗効果素子において、下磁性膜12の磁化は全体が反強磁性膜11により固定されており、上磁性膜14のコンタクト領域Bはエッチング除去されているため磁気抵抗効果素子の能動領域は厳密にリード間Aとなる。このため、コンタクト領域Bは記録情報を検出しないので、コンタクト領域Bも大きくとることができる。

【0076】また、後述のようにリード16の形成直前に、コンタクト領域Bの非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15、並びに下磁性膜12の一部をエッチング除去して洗浄するため、コンタクト領域Bのオーミックコンタクトを確実にとることができる。

【0077】この素子において、コンタクト領域Bの非磁性膜13はエッチングにより除去されているが、必ずしも除去する必要はない。また、コンタクト領域Bの下磁性膜12は、部分的にエッチング除去されているが、まったくエッチング除去しなくてもよく、反強磁性膜11や硬質磁性膜が導電性をもつ場合には全部エッチング除去してもよい。

【0078】この場合、FeMnで固着されている側の磁性膜の膜厚は、反対側の磁性膜より大きい方が好ましい。このように設定することにより、トラック幅が狭いときにおいても、上下磁性膜の磁化の反平行状態を実現しやすい。

【0079】図1(B)、(C)および図2(A)～(D)は、本発明の第1の発明の他の実施例を示す斜視図である。具体的には、図1(B)は、コンタクト領域Bの非磁性膜13も一部残存させたものを示す。図1(C)は、コンタクト領域Bの下磁性膜12をすべてエッチングして除去したものを示す。図2(A)は、導電性の下地膜17の能動領域上に反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜、下磁性膜12、非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15を順次形成し、下地膜17のコンタクト領域上にリード16を形成したものを示す。図2(B)は、導電性の下地膜17の能動領域上に下磁性膜12、非磁性膜13、上磁性膜14、反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜、および保護膜15を順次形成し、下地膜17のコンタクト領域上にリード16を形成したものを示す。図2(C)は、反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜上に下磁性膜12、非磁性膜13、中間磁性膜18、非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15を順次形成し、コンタクト領域Bに一部残存させた下磁性膜12上にリード16を形成したものを示す。この磁気抵抗効果素子は、下磁性膜12の磁化は反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜により固定され、中間磁性膜18および上磁性膜14が信号磁界に応答するタイプのものである。図2(D)は、導電性の下地膜17の能動領域A上に下磁性膜12、非磁性膜13、中間磁性膜18、非磁性膜13、上磁性膜14、反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜、および保護膜15を順次形成し、下地膜17のコンタクト領域B上にリード16を形成したものを示す。この磁気抵抗効果素子は、上磁性膜14の磁化は反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜により固定され、中間磁性膜18および下磁性膜12が信号磁界に応答するタイプのものである。

【0080】なお、本発明の第1の発明にかかる磁気抵抗効果素子の作製工程の一例を図3(A)～(E)に示

す。

【0081】まず、図3（A）に示すように、基板10上に反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜、下磁性膜12、非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15を順次形成し、略短冊状となるようにすべての膜をエッチングする。次いで、図3（B）に示すように、基板10および保護膜15上に逆テーパレジスト19を形成してパターニングする。これを蒸着装置等の真空容器中に載置し、図3（C）に示すように、逆スパッタを行いコントロール領域の保護膜15、上磁性層14、および非磁性膜13、並びに下磁性膜12の一部をエッチングする。

【0082】次いで、図3（D）に示すように、真空を破らずにCr/Cu16'を順次成膜する。その後、図3（E）に示すように、アセトン等を用いて超音波洗浄することによりリフトオフし、本発明の第1の発明にかかる磁気抵抗効果素子を得る。

実施例B1

図4は本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の一実施例を示す斜視図である。

【0083】基板20上にNiFe合金等からなる下磁性膜21が形成されている。この下磁性膜21はその端面が媒体対向面に露出するよう延伸されている。下磁性膜21上にはCu等からなる非磁性膜22、NiFe合金等からなる上磁性膜23、および反強磁性膜24が順次形成されており、これらの膜は媒体対向面に露出しないようエッチングにより所定の部分が除去されている。反強磁性膜24上には、リード25が形成されている。

【0084】次に、図4に示す磁気抵抗効果素子の作製方法を図5（A）～（C）に示す。なお、図5（A）～（C）は図5のA方向から見た断面を示す。

【0085】まず、基板20上に信号磁界に応答する下磁性膜21を厚さ約8nmでスパッタリングにより成膜する。次いで、図5（A）に示すように、この後に成膜する反強磁性膜24等の膜を成膜する部分以外にレジスト層26を形成する。次いで、図5（B）に示すように、リフトオフ法で非磁性膜22を厚さ約2nmで、上磁性膜23を厚さ約4nmで、反強磁性膜24を厚さ約14nmで成膜する。このとき、下磁性膜21の表面を清浄する目的でこれらの膜を成膜する前にスパッタエッチングを行うことが望ましい。

【0086】次いで、図5（C）に示すように、レジスト層26を除去した後、一部の下磁性膜21をエッチングにより除去してパターニングする。最後に、リフトオフ法で反強磁性膜24上にリード25を形成することにより図4に示すような磁気抵抗効果素子が得られる。

【0087】また、ここでは下磁性膜21のみを成膜してからリフトオフ法で他の磁性膜等を成膜しているが、非磁性膜22として耐食性の良い材料を用いることにより、下磁性膜21、非磁性膜22を成膜した後にリフト

オフ法で他の磁性膜等を成膜することができる。この場合、下磁性膜21、非磁性膜22が媒体対向面に露出する構造となる。

【0088】さらに、図5（B）において、上記ではレジスト層26を形成した後に、非磁性膜22を続けて形成したが、レジスト層26を形成した後に、さらに下磁性膜26と同じ材料の磁性膜を厚さ数nm、例えば3nm程度で形成し、その上に非磁性膜22、上磁性膜23、および反強磁性膜24を順次形成してもよい。

実施例B2

図6は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図6に示す磁気抵抗効果素子は、図7（A）～（C）に示すようにして作製される。

【0089】まず、図7（A）に示すように、基板20上にNiFe合金等からなる下磁性膜21を厚さ約8nmで、Cu等からなる非磁性膜22を厚さ約2nmで、NiFe合金等からなる上磁性膜23を厚さ約4nmで、FeMn等からなる反強磁性膜24を厚さ約14nmで順次形成する。次いで、反強磁性膜24上にレジスト層26を形成する。

【0090】次いで、図7（B）に示すように、これら多層膜に所望のテーパ角が付くような条件でイオンビームエッチングを行い、レジスト層26を除去し、実施例B1と同様にしてリード25を形成する。

【0091】次いで、図7（C）に示すように、通常のヘッド作製工程で用いられるヘッド摺動面の研磨方法により基板20を研磨してデブス方向に追い込む。このとき、反強磁性膜24が外部に露出しなければ非磁性膜22、上磁性膜23に研磨が及んでも問題ない。このようにして図6に示す磁気抵抗効果素子が作製される。

【0092】本発明の第2の発明は、実施例B1およびB2の磁気抵抗効果素子を基本構造として、様々な素子構造、例えば磁性膜が3層以上のものや、様々なバルクハウゼン対策用のバイアス方式を採用したものについて応用可能である。以下にこれらの様々な素子構造に本発明の第2の発明を応用した場合の実施例を示す。

実施例B3

図8は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図8に示す磁気抵抗効果素子は、図9（A）～（D）に示すようにして作製される。

【0093】図9（A）に示すように、基板20上にSiO₂膜27を成膜し、CF₄ガスを用いてRIE（リアクティブイオンエッチング）を行い、所望の形状の溝28を形成する。このとき、ヘッド部に影響のない所で、研磨の際にストップバーが確認できる程度の大きさの同様な溝を作製しておく。

【0094】次いで、図9（B）に示すように、FeMn等からなる反強磁性膜24を厚さ約14nmで、NiF

す。

【0081】まず、図3（A）に示すように、基板10上に反強磁性膜11あるいは硬質磁性膜、下磁性膜12、非磁性膜13、上磁性膜14、および保護膜15を順次形成し、略短冊状となるようにすべての膜をエッチングする。次いで、図3（B）に示すように、基板10および保護膜15上に逆テーパレジスト19を形成してパターニングする。これを蒸着装置等の真空容器中に載置し、図3（C）に示すように、逆スパッタを行いコントクト領域の保護膜15、上磁性層14、および非磁性膜13、並びに下磁性膜12の一部をエッチングする。

【0082】次いで、図3（D）に示すように、真空を破らずにCr/Cu16'を順次成膜する。その後、図3（E）に示すように、アセトン等を用いて超音波洗浄することによりリフトオフし、本発明の第1の発明にかかる磁気抵抗効果素子を得る。

実施例B1

図4は本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の一実施例を示す斜視図である。

【0083】基板20上にNiFe合金等からなる下磁性膜21が形成されている。この下磁性膜21はその端面が媒体対向面に露出するよう延伸されている。下磁性膜21上にはCu等からなる非磁性膜22、NiFe合金等からなる上磁性膜23、および反強磁性膜24が順次形成されており、これらの膜は媒体対向面に露出しないようエッチングにより所定の部分が除去されている。反強磁性膜24上には、リード25が形成されている。

【0084】次に、図4に示す磁気抵抗効果素子の作製方法を図5（A）～（C）に示す。なお、図5（A）～（C）は図5のA方向から見た断面を示す。

【0085】まず、基板20上に信号磁界に応答する下磁性膜21を厚さ約8nmでスパッタリングにより成膜する。次いで、図5（A）に示すように、この後に成膜する反強磁性膜24等の膜を成膜する部分以外にレジスト層26を形成する。次いで、図5（B）に示すように、リフトオフ法で非磁性膜22を厚さ約2nmで、上磁性膜23を厚さ約4nmで、反強磁性膜24を厚さ約14nmで成膜する。このとき、下磁性膜21の表面を清浄する目的でこれらの膜を成膜する前にスパッタエッチングを行うことが望ましい。

【0086】次いで、図5（C）に示すように、レジスト層26を除去した後、一部の下磁性膜21をエッチングにより除去してパターニングする。最後に、リフトオフ法で反強磁性膜24上にリード25を形成することにより図4に示すような磁気抵抗効果素子が得られる。

【0087】また、ここでは下磁性膜21のみを成膜してからリフトオフ法で他の磁性膜等を成膜しているが、非磁性膜22として耐食性の良い材料を用いることにより、下磁性膜21、非磁性膜22を成膜した後にリフト

オフ法で他の磁性膜等を成膜することができる。この場合、下磁性膜21、非磁性膜22が媒体対向面に露出する構造となる。

【0088】さらに、図5（B）において、上記ではレジスト層26を形成した後に、非磁性膜22を続けて形成したが、レジスト層26を形成した後に、さらに下磁性膜26と同じ材料の磁性膜を厚さ数nm、例えば3nm程度で形成し、その上に非磁性膜22、上磁性膜23、および反強磁性膜24を順次形成してもよい。

実施例B2

図6は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図6に示す磁気抵抗効果素子は、図7（A）～（C）に示すようにして作製される。

【0089】まず、図7（A）に示すように、基板20上にNiFe合金等からなる下磁性膜21を厚さ約8nmで、Cu等からなる非磁性膜22を厚さ約2nmで、NiFe合金等からなる上磁性膜23を厚さ約4nmで、FeMn等からなる反強磁性膜24を厚さ約14nmで順次形成する。次いで、反強磁性膜24上にレジスト層26を形成する。

【0090】次いで、図7（B）に示すように、これら多層膜に所望のテーパ角が付くような条件でイオンビームエッチングを行い、レジスト層26を除去し、実施例B1と同様にしてリード25を形成する。

【0091】次いで、図7（C）に示すように、通常のヘッド作製工程で用いられるヘッド摺動面の研磨方法により基板20を研磨してデブス方向に追い込む。このとき、反強磁性膜24が外部に露出しなければ非磁性膜22、上磁性膜23に研磨が及んでも問題ない。このようにして図6に示す磁気抵抗効果素子が作製される。

【0092】本発明の第2の発明は、実施例B1およびB2の磁気抵抗効果素子を基本構造として、様々な素子構造、例えば磁性膜が3層以上のものや、様々なバルクハウゼン対策用のバイアス方式を採用したものについて応用可能である。以下にこれらの様々な素子構造に本発明の第2の発明を応用した場合の実施例を示す。

実施例B3

図8は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図8に示す磁気抵抗効果素子は、図9（A）～（D）に示すようにして作製される。

【0093】図9（A）に示すように、基板20上にSiO₂膜27を成膜し、CF₄ガスを用いてRIE（リアクティブイオンエッチング）を行い、所望の形状の溝28を形成する。このとき、ヘッド部に影響のない所にて、研磨の際にストップバーが確認できる程度の大きさの同様な溝を作製しておく。

【0094】次いで、図9（B）に示すように、FeMn等からなる反強磁性膜24を厚さ約14nmで、NiFe

e等からなる下磁性膜21を厚さ約4nmで、Cu等からなる非磁性膜22を厚さ約2nmで、さらに研磨の際のストッパーとしてポリシリコン膜29を厚さ約0.5nmで形成する。

【0095】次いで、図9(C)に示すように、ストッパーの途中までまたはストッパーがほぼなくなるまで表面を研磨した後、CF₄ガスを用いてCDE(ケミカルドライエッティング)を行いストッパーであるポリシリコンを除去する。その後、図9(D)に示すように、NiFe等からなる上磁性膜23を厚さ約8nmで形成する。以下、実施例B1と同様の方法で上磁性膜23上に非磁性膜22、上磁性膜23、および反強磁性膜24をさらに成膜して、図8の構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0096】本実施例では、このように信号磁界に応答する磁性膜の両側に反強磁性膜によって磁化固定された磁性膜を配置することにより、抵抗変化率を約2倍に向上させることができる。また、両反強磁性膜による磁性膜の磁化の固定方向を信号磁界方向とし、信号磁界に応答する磁性膜の容易軸方向をトラック幅方向にして、磁化を直交させることにより、さらに感度が向上する。また、信号磁界に応答する磁性膜のみを媒体対向面に露出させ、反強磁性膜と共に磁化固定された磁性膜をヘッド内部に作製しているので高い信頼性を持つ薄膜磁気ヘッドが得られる。

実施例B4

図10は、本発明の第2の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図10に示す磁気抵抗効果素子は、図11(A)～(C)に示すようにして作製される。

【0097】図11(A)に示すように、基板20上にCoZrNb等からなるアモルファス膜35を厚さ約1.5nmで成膜し、次いで、CoFeまたはCo等からなる下磁性膜21を厚さ約4nmで、Cu等からなる非磁性膜22を厚さ約3nmで、CoFeまたはCo等からなる上磁性膜23を厚さ約4nmで、FeMn等からなる反強磁性膜24を厚さ約1.4nmで順次形成する。さらに、反強磁性膜24上にレジスト層26を形成する。

【0098】次いで、図11(B)に示すように、これらの多層膜をイオンビームエッティング等でエッティングし、レジスト層26を除去し、さらに、エッティングされた多層膜の後部に所望形状のレジスト層32を形成する。その後、図11(C)に示すように、アモルファス膜35が残るようによ多層膜をエッティングする。なお、ここで、イオンビームエッティングを行ってもよいが、一般に、アモルファスが結晶に比べて酸等の溶剤に溶解しにくいことをを利用して、下磁性膜21から反強磁性膜24まで溶解し、アモルファス膜35を溶解しない溶剤を選択して化学エッティングを行ってもよい。このときアモルファス膜35は、軟磁気特性が得られていれば多少のオーバーエッティングは許容され、逆に下磁性膜21が残存してもよい。このような化学エッティングを行うことにより、アモルファス膜35をオーバーエッティングすることを防止できる。

【0099】最後に、実施例B1と同様にしてリード25を形成し、通常のヘッド作製工程で用いられるヘッド摺動面の研磨を施してデブス方向に追い込んで図10に示す構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0100】本実施例では、強磁性膜であるアモルファス膜35とCoFeまたはCo等からなる下磁性膜21とは交換結合しているため、アモルファス特有の良好な軟磁気特性(低保磁力)とCo系磁性膜によるスピナルブ型磁気抵抗効果素子特有の高い抵抗変化率を備えた薄膜磁気ヘッドが得られる。さらに、アモルファス膜35は、高抵抗であるためセンス電流の分流が小さく、感度が落ちることがない。また、アモルファス膜35とCo系下磁性膜21との間に極薄い(厚さ約1nm)絶縁膜を形成してもよく、アモルファス膜35は、フェライトやNiFeに添加元素を加えたNiFeNb、NiFeMo等からなる高抵抗強磁性膜でもよい。

実施例B5

図12は、本発明の第2の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図12に示す磁気抵抗効果素子は、図13(A)～(C)に示すようにして作製される。

【0101】図13(A)に示すように、基板20上にNiFeからなる下磁性膜33を厚さ約8nmで成膜し、次いで、Cuからなる非磁性膜22を厚さ約3nmで、CoFeまたはCoからなる高保磁力の上磁性膜34を厚さ約8nmでスパッタリングにより順次形成する。さらに、上磁性膜34上にレジスト層26を形成する。

【0102】次いで、図13(B)に示すように、これらの多層膜をイオンビームエッティング等でエッティングし、レジスト層26を除去し、さらに、エッティングされた多層膜の後部に所望形状のレジスト層32を形成する。その後、図13(C)に示すように、下磁性膜33が残るようによイオンビームエッティング等でエッティングする。このとき下磁性膜33は、軟磁気特性が得られていれば多少のオーバーエッティングが許容され、逆に非磁性膜22が残存していてもよい。

【0103】最後に、実施例B1と同様にしてリード25を形成し、通常のヘッド作製工程で用いられるヘッド摺動面の研磨を施してデブス方向に追い込んで図12に示す構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0104】このような構成にすることにより、本実施例では、CoFeまたはCoを着磁すればFeMnを使用せずに上磁性膜34の磁化を固定できる。また、例えばCoFeまたはCoの着磁方向を信号磁界方向にし、リード25を図12に示すように配置し、センス電流から生じる電流が界で信号磁界が0の場合の下磁性膜33

3の磁化をトラック幅方向に印加することで、信号磁界に対して高い抵抗変化率を得ることができる。

【0105】また、このように下磁性膜33を上磁性膜34より大きく形成することにより、下磁性膜33、非磁性膜22および上磁性膜34が同形状の新庄型磁気抵抗効果素子で問題となるHcの増大は大幅に軽減できる。また、高保磁力膜を媒体対向面に露出して配置すると、媒体への影響等が懸念されるが、本構造のように高保磁力膜を媒体対向面から離れて配置すればこのような問題は解消される。

実施例B6

図14は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図14に示す磁気抵抗効果素子は、図15(A)～(C)に示すようにして作製される。

【0106】図15(A)に示すように、基板20上にCoFeまたはCo等からなる厚さ4nmの下磁性膜21、Cu等からなる厚さ約3nmの非磁性膜22、およびCoFeまたはCo等からなる厚さ4nmの上磁性膜23を順次形成する。さらに、上磁性膜23上の所定部分にレジスト層26を形成する。

【0107】次いで、図15(B)に示すように、イオンビームエッティング等によりレジスト層26以外の部分の非磁性膜22および上磁性膜23を除去する。次いで、図15(C)に示すように、非磁性膜22および上磁性膜23よりも前後に延出して残るよう下磁性膜21をイオンビームエッティング等により除去し、前述の方法でリード部を形成して図14に示す構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0108】図14に示す構造において、下磁性膜21の下地膜として、前記したようにCoZrNb等からなるアモルファス膜を成膜し、媒体対向面に露出する部分をアモルファス膜とし、アモルファス膜の中間部に下磁性膜21から上磁性膜23が積層されるようにしてもよい。また、上磁性膜23上に反強磁性膜や硬質磁性膜を成膜し、少なくとも非磁性膜22、上磁性膜23、反強磁性膜または硬質磁性膜がヘッド内部に存在し、下磁性膜またはアモルファス膜が媒体対向面に露出するようにしてもよい。

【0109】この場合、反強磁性膜や硬質磁性膜は、上磁性膜23の磁化を固着する働きをする。このとき、磁化方向はトラック幅方向でも、トラック幅方向に略直交する方向でもよい。例えば、上磁性膜23の磁化がトラック幅方向に固着されている場合は、下磁性膜21の容易軸もトラック幅方向であるため、上磁性膜23と下磁性膜21の磁化は反平行となり、静磁結合する。このため、ノイズ抑制の効果は大きいが、感度が落ちる。一方、上磁性膜23の磁化がトラック幅方向に略直交する方向に固着されている場合は、下磁性膜21の容易軸はトラック幅方向であるため、上磁性膜23と下磁性膜21

の磁化は略直交し、信号磁界で平行、反平行が実現できる。このため、感度は充分とれるが、ノイズ抑制の効果が小さくなる。

【0110】また、媒体対向面に露出する部分をアモルファス膜にする場合には、図16に示すように、ノイズを抑制するために、アモルファス膜35aおよび35bの間にTa等からなる非磁性膜37を介在させることが好ましい。これは、アモルファス膜35を積層構造することにより、上下アモルファス膜35の磁化が静磁結合し、より磁化の容易軸方向がトラック幅方向に向き易くなり、磁壁の発生が抑制できるためである。また、このとき、上磁性膜23との結合により下側のアモルファス膜35bの磁化に逆向きの磁界がかかるので、下側のアモルファス膜35bは上側のアモルファス膜35aに比べて膜厚を厚くしてもよい。

【0111】なお、この構造においては、トラック幅が狭い場合、多層膜の占める面積が小さくなり、感度の低下を招く恐れがある。これに対しては、下磁性膜21の形状を図17に示すようにすることにより、トラック幅に依存せず高感度な磁気抵抗効果素子とすることができます。

実施例B7

図18は、本発明の第2の発明にかかるスピンドル型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図18に示す磁気抵抗効果素子は、図19(A)～(E)に示すようにして作製される。

【0112】図19(A)に示すように、基板20上にCoFeまたはCo等からなる厚さ約4nmの下磁性膜21、Cu等からなる厚さ約3nmの非磁性膜22、CoFeまたはCo等からなる厚さ約4nmの上磁性膜23、FeMn等からなる厚さ約14nmの反強磁性膜24、Ti等からなる厚さ約10nmの保護膜15を順次形成する。さらに、保護膜15上の所定部分にレジスト層26を形成する。

【0113】次いで、図19(B)に示すように、非磁性膜22、上磁性膜23、反強磁性膜24、および保護膜15をイオンビームエッティング等によりエッティングする。次に、図19(C)に示すような形状にパターニングされたレジスト層26を形成し、下磁性膜21から保護膜15までをイオンビームエッティング等でエッティングする。

【0114】次いで、このレジスト層26は除去せず、図19(D)に示すように、硬質磁性膜36を成膜する。レジスト層26を除去した後、図19(E)に示すように、硬質磁性膜36、下磁性膜21、保護膜15上に、所望の形状にレジスト層26'を形成する。その後、イオンビームエッティング等でエッティングし、前述した方法でリード25を形成して図18に示す構造の磁気抵抗効果素子を得る。

【0115】このように、下磁性膜21の両側に硬質磁

性膜3 6を配置する構造にすることで、信号磁界に応答する磁性膜の多磁区性に起因するバルクハウゼンノイズを抑制でき、反強磁性膜2 4がヘッド内部に存在するため、高い信頼性をもった薄膜磁気ヘッドを作製できる。

【0116】さらに、図18に示すように、硬質磁性膜3 6の磁化方向がトラック幅方向、反強磁性膜1 1の磁化方向が信号磁界方向となるようにそれぞれの着磁方向を制御することで下磁性膜2 1と上磁性膜2 3の磁化方向を、信号磁界が0の場合に略直交させることができ、これら磁化方向が互いに反平行状態の素子に比べさらに高感度なヘッドが得られる。

【0117】なお、ここで、下磁性膜2 1は媒体対向面側にのみ延出している、すなわち多層膜部が下磁性膜2 1のヘッド内部の側端部に存在するような構造でもよい。さらに、この下磁性膜2 1の下地膜として前述のようにCoZrNb等からなるアモルファス膜を成膜し、媒体対向面に露出する部分がアモルファス膜であり、中間部に下磁性膜2 1から保護膜1 5までの多層膜が媒体対向面からリセスした構造でもよい。

【0118】このとき、硬質磁性膜3 6の膜厚は、下磁性膜2 1と等しくてもよいが、反強磁性膜2 4の上磁性膜2 3に及ぼす交換結合力と、硬質磁性膜3 6が下磁性膜2 1に及ぼす異方性磁界の大きさ等を考慮、調節できる範囲であれば、調節すれば、上磁性膜2 3に至るほど厚くてもよく、逆に硬質磁性膜3 6が下磁性膜2 1に比べて薄くてもよい。ただし、硬質磁性膜3 6の漏洩磁界による影響を考慮すると、図示されるように硬質磁性膜3 6が下磁性膜2 1に比べて薄い方が望ましい。

【0119】ここで、さらに反強磁性膜2 4の上磁性膜2 3に及ぼす交換結合力と、硬質磁性膜3 6が下磁性膜2 1に及ぼす異方性磁界の大きさ等を考慮、調節すれば、硬質磁性膜3 6と下磁性膜2 1とは必ずしも結合しないなくても良く、また硬質磁性膜3 6は媒体対向面に露出させず、ヘッド内部に形成しても良い。

【0120】また、実施例B 3で示す埋め込み方法で、図20に示すように、硬質磁性膜3 6、磁気的絶縁膜3 0を順次形成し、この硬質磁性膜3 6との静磁結合で下磁性膜2 1の単磁区化を行うことができる。

【0121】さらに、ここで用いられる硬質磁性膜において、その磁化は膜面内方向に向いていることが望ましい。これは、例えば図18に示すように、硬質磁性膜を磁化固定される磁性膜（図15中の下磁性膜2 1）の両側に配置した場合、硬質磁性膜の磁化が垂直成分を持っているとすると、下磁性膜2 1の磁化固定へ悪影響をもたらすだけでなく、上磁性膜2 3へ漏洩磁界が発生し、磁化状態の制御が困難となる。

【0122】また、図20に示すように、硬質磁性膜を磁化固定される磁性膜（図20中の下磁性膜2 1）と磁気的絶縁膜3 0を介して積層した場合、硬質磁性膜の磁化が垂直成分を持っているとすると、下磁性膜2 1の磁

化を面内固定することができなくなり、下磁性膜の軟磁気特性にも悪影響を及ぼす。この硬質磁性膜の磁化の方向は、その結晶構造に大きく依存している。すなわち、硬質磁性膜においてhcp(002)配向が強くなると、磁化は膜面垂直方向に向き易くなる。そこで、このhcp(002)配向を抑制することにより、磁化は膜面垂直方向には向き難くなり、磁化固定のためのバイアス膜として良好な硬質磁性膜を得ることができる。

【0123】一方、磁気ヘッド作製プロセスにおいて、硬質磁性膜はリフトオフ法で作製する場合が多い。リフトオフ法は、いわばレジスト層内に形成した穴内に硬質磁性膜をスパッタリングにより成膜するので、この方法においては成膜後のレジスト層の除去を円滑にかつバリが出ないようにするために、ターゲットと基板を対向させる必要がある。しかし、硬質磁性膜は、ターゲットと基板を対向させてスパッタリングにより形成するとhcp(002)配向し易くなるという問題がある。

【0124】ここでは、この問題を解決するために、hcp(002)配向を抑制する目的で、硬質磁性膜の下地膜としてCoZrNbアモルファス膜を用いた。このときの結晶性を示すX線回折の結果を図21(A)および図21(B)に示す。具体的には、図21(A)はCoPt硬質磁性膜を厚さ30nmで成膜したときの結果を示し、図21(B)は下地膜としてCoZrNbアモルファス膜を厚さ20nmで成膜した後、その上にCoPt硬質磁性膜を厚さ30nmで成膜したときの結果を示す。図21から明らかなように、アモルファス膜を下地膜に用いた場合には、CoPt硬質磁性膜のhcp(002)配向は抑制されている。また、このときの角型比についても、CoPtの場合は0.6であり、CoZrNb/CoPtの場合は0.85と高く、アモルファス膜の下地膜を有する方が磁化が面内に向き易くなることが分かる。このように、硬質磁性膜を磁化固定のためのバイアス膜として用いる場合には、アモルファス膜の下地膜を用いることが有効であることが分った。

【0125】したがって、図18および図20に示す場合において、硬質磁性膜の下地膜としてアモルファス膜を形成することにより、さらにノイズ抑制効果を高め、軟磁気特性の劣化防止により透磁率が向上し、より高い感度の磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0126】なお、このアモルファス膜は、斜方入射スパッタリングにより形成した場合でも上記と同様の効果が認められた。さらに、このアモルファス膜の効果は、スピンドル型磁気抵抗効果素子のみならず、通常の単層膜の磁気抵抗効果素子にも応用することができる。

【0127】さらに、上述したような硬質磁性膜としては、高保磁力微粒子層を好適に用いることができる。以下には、具体的に磁気抵抗効果素子に高保磁力微粒子を磁化容易軸を揃えて付着させ、交換バイアスを印加する例について説明する。すなわち、高保磁力微粒子は、磁

気抵抗効果素子上に直接接触した状態で配置されるために、交換バイアスが磁気抵抗効果素子に印加される。また、微粒子間は相互作用が弱いため、軟磁性膜と直接接合しても、保磁力の低下が小さい。さらに、微粒子の大きさは、磁化固定領域（受動領域）に比べて十分小さい。したがって、受動領域全面に均一に交換バイアスが加わる。微粒子は、バイアス磁界を与えた方向に磁化容易軸を描えて付着されるので、面内一方向に分散の小さいバイアス磁界が印加される。微粒子は一軸磁気異方性が存在するため、保磁力を越える強い信号磁界が入ってきたときも、もとの磁化状態に復帰することができる。

【0128】したがって、高保磁力微粒子を磁気抵抗効果素子に付着させてバイアス磁界を与えることにより、信頼性が高い、高品質な薄膜磁気ヘッドを提供することが可能である。

【0129】図22は、硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗効果素子を示す断面図である。基板40上にCuからなるシャントバイアス膜41およびNi₈₀Fe₂₀からなる磁気抵抗効果膜42が積層されている。このシャントバイアス膜41および磁気抵抗効果膜42は断面が矩形状にパターニングされている。また、センス電流が流せるように磁気抵抗効果膜42上にはリード43が形成されている。また、磁気抵抗効果膜42の両端部を覆うように基板40上には、FeCo系高保磁力微粒子層44が形成されている。この高保磁力微粒子は、長軸方向が磁化容易軸である針状結晶をしており、断面における長手方向に沿ってこの磁化容易軸が配向されている。

【0130】このような構成の磁気抵抗効果素子について、センス電流の通電方向と略直交する方向に信号磁界を印加して、磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界との関係を調べたところ、抵抗-磁界曲線においてバルクハウゼンノイズに伴う不連続点は観察されなかった。

【0131】この磁気抵抗効果素子は次のようにして作製される。まず、基板40上にスパッタリングによりCuを厚さ5nm、Ni₈₀Fe₂₀を厚さ20nmで順次形成する。次いで、この2つの膜を5μm×50μmの矩形状にパターニングする。さらに、Ni₈₀Fe₂₀上にCuをスパッタリングにより成膜し、パターニングしてリードを形成する。このとき、リード間隔によりトラック幅（能動領域）が規定される。

【0132】次に、FeCo合金微粒子を有機系バインダーと混合して塗料とし、これを磁気抵抗効果素子パターンの長手方向に沿って磁界を印加しながら素子全面に塗布する。さらに、この上にレジストを塗布した後に、素子の両端部に高保磁力微粒子層44が10μm×100μmの寸法で残存するように露光、現像する。このようにして図22に示す磁気抵抗効果素子が得られる。

【0133】塗料中の高保磁力微粒子の体積密度（すなわち充填率）は約40%である。また、高保磁力微粒子

の長軸が配列している方向（磁化容易軸方向）の残留磁化量は、飽和磁化量の約90%である。なお、磁性微粒子の形状は、長軸方向が約200～300nm、短軸方向が約40nmである。

【0134】また、図22においては、高保磁力微粒子層44は、磁気抵抗効果膜42の両端のみ形成されているが、図23に示すように、非磁性の磁気的絶縁膜45を能動領域に形成し、磁気抵抗効果膜42全面に高保磁力微粒子層44を形成してもよい。なお、図23は断面図であるので、リード43上まで高保磁力微粒子層44が形成されているように見えるが、実際は、磁気抵抗効果膜42近傍のみが高保磁力微粒子層44で覆われておりリード43は露出するので、センス電流は供給できる。

【0135】高保磁力微粒子層44における磁化の分散は、一般に薄膜形成される単層の硬質磁性膜よりも小さい。したがって、このように能動領域において非磁性の磁気的絶縁膜45で高保磁力微粒子層44と磁気抵抗効果膜42を離隔することにより、薄膜形成の場合に発生する硬質磁性膜の分散磁化成分から生じる磁束の能動領域への流入による軟磁性劣化が緩和される。このため、より良好な軟磁性が能動領域で得ることができる。

【0136】このとき、高保磁力微粒子層44が磁気抵抗効果素子の下側にある構造においても同様な効果が得られる。なお、高保磁力微粒子層44の表面の凹凸は、磁気的絶縁膜45の表面の平坦度に影響される。

【0137】さらに、上述した例においては、高保磁力微粒子としてFeCo合金微粒子を用い、塗料中の充填率は約40%に設定したが、この充填率や高保磁力微粒子の材料を変えることによって、バイアス磁界を変化させることができる。例えば、高保磁力微粒子の材料として、γ-酸化鉄を用いることによりバイアス磁界は約1/3になることが確認され、塗料中の充填率を高くすることにより、バイアス磁界が増加することも分かった。また、高保磁力微粒子の材料として、Coを添加したγ-酸化鉄、酸化クロム、鉄を用いても同様の効果が得られた。

【0138】以上の図22～23に示す磁気抵抗効果素子においては、高保磁力微粒子層44は縦バイアス膜として機能している。一方、動作点バイアスは、磁気抵抗効果膜42の下に設けられたシャントバイアス膜41に流れるシャント電流により付与されている。

【0139】図24は高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗効果素子の他の例を示す断面図である。ここでは、シリコン基板46上の受動領域にエッチングにより角型の穴を形成し、その穴内に高保磁力微粒子層44を形成し表面を平坦化して、その上に磁気抵抗効果膜42およびリード43を形成する。

【0140】図25は図24に示す磁気抵抗効果素子の平面図である。高保磁力微粒子層44を穴内に形成する

とき、すなわち高保磁力微粒子を含む塗料を穴内に充填して加熱するときに、図中の破線矢印で示す方向（磁気抵抗効果膜の長手方向に対して約45度の角度）に磁界を印加して着磁した。この磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界との関係を調べたところ、バルクハウゼンノイズは抑制され、しかも良好な動作点バイアスが印加されていることが分かった。

【0141】この磁気抵抗効果素子は次のようにして作製される。まず、シリコン基板46にマスキングを施してケミカルエッティングを行い、 $6\text{ }\mu\text{m}$ の間隔をおいて深さ約 $5\text{ }\mu\text{m}$ の穴を形成する。次に、FeCo合金微粒子を有機バインダーと混合して塗料とし、これをシリコン基板46全面に塗布し、図25に示す破線矢印の方向に磁界を印加しながら加熱して有機バインダーを除去して高保磁力微粒子層44を形成する。さらに、これにポリッシング処理を施して穴以外の部分に形成された高保磁力微粒子層44を除去し、シリコン基板46の平坦化を行う。

【0142】次いで、このシリコン基板46上にスパッタリングにより磁気抵抗効果膜42を厚さ約 20 nm で形成した後、この膜を $30\text{ }\mu\text{m}\times 2\text{ }\mu\text{m}$ のストライプ形状にパターニングする。その後、Cuを厚さ約 200 nm で形成し、パターニングしてリード43を形成する。

【0143】このリード43と高保磁力微粒子層44の位置関係は、適宜選択することができる。例えば、リード間隔よりも、高保磁力微粒子層44の間隔が短ければ、高保磁力微粒子層44の間隔でトラック幅を規定することができる。

【0144】さらに、図22～25は、異方性磁気抵抗効果を利用する磁気抵抗効果素子に高保磁力微粒子層を適用した例であるが、次に、スピニン依存散乱による磁気抵抗効果を利用する磁気抵抗効果素子に高保磁力微粒子層を用いた例について説明する。図26はスピニン依存散乱による磁気抵抗効果を利用する磁気抵抗効果素子を示す断面図である。この磁気抵抗効果素子は次のようにして作製される。

【0145】まず、基板40上に $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ からなる下磁性膜47を厚さ 8 nm で、Cuからなる非磁性膜48を厚さ 3 nm で、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 膜からなる上磁性膜49を厚さ 8 nm でそれぞれスパッタリングにより形成する。この多層膜をストライプ形状にパターニングし、上磁性膜49上にリード43を形成する。次いで、これにFeCo合金微粒子を用いて高保磁力微粒子層44を、その高保磁力微粒子の磁化容易軸がストライプの長手方向に揃うように形成する。

【0146】このような構成の磁気抵抗効果素子においては、高保磁力微粒子層44と直接接触している上磁性膜49の磁化がストライプの長手方向に固着される。一方、下磁性膜47は信号磁界に追随して磁化の回転が可能となる。その結果、信号磁界に応じて非磁性膜48を

挟持した上下磁性膜47、49の磁化方向の間のなす角が変化する。このため、スピニン依存散乱による抵抗変化が発生する。この高保磁力微粒子層44は、トラック幅に相当する領域に形成してあればよい。また、磁化の向きは、ストライプの長手方向に限らず、ストライプの幅方向であってもよい。

【0147】さらに以上は、高保磁力微粒子層44が磁気抵抗効果膜42と直接接触させた例であり、このように高保磁力微粒子層44が磁気抵抗効果膜42と直接接觸することにより両者が交換結合している。これに対し、高保磁力微粒子層44と磁気抵抗効果膜42が非磁性物質を挟持して接する場合であっても、両者が静磁結合することによりバイアス磁界を印加することができる。

実施例B 8

図27に、本発明の第2の発明をヨークタイプ型再生ヘッドに適用した例を示す。このヨークタイプ型再生ヘッドは、軟磁性体50と軟磁性ヨーク51との間の磁気ギャップにより磁束を取り込んで素子部52に導くものである。

【0148】また、図28に、本発明の第2の発明を垂直記録用ヘッドに適用した例を示す。ここでは、軟磁性体50が記録用主磁極を兼ねている。場合によっては、リードを紙面において手前に延在させ、記録用コイル53として使用してもよい。

【0149】いずれの場合も軟磁性体50は後方にも延在させているが、これは反磁界を減少させて再生感度を向上させるためである。

実施例B 9

図29は、本発明の第2の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図である。この図29に示す磁気抵抗効果素子は、図30(A)～(C)に示すようにして作製される。

【0150】図30(A)に示すように、基板20上にNiFe等からなる下磁性膜21を厚さ約 8 nm で成膜し、この上にレジスト層26を形成してパターニングする。次いで、図30(B)に示すように、リフトオフ法でCu等からなる非磁性膜22を厚さ約 3 nm で成膜し、その後レジスト層26を除去する。次いで、図30(C)に示すように、NiFe等からなる上磁性膜23を厚さ約 8 nm で成膜する。このとき、下磁性膜21の表面を清浄する目的でスパッタエッティングをするほうが望ましい。

【0151】次に、図29に示すように、上下磁性膜21、23と、非磁性膜22を一括して所望の形状に、通常の半導体プロセスを用いてパターニング後、リフトオフ法でリード25を作製する。このとき、リード25は上磁性膜23の段差部分よりも内側に作製することが望ましい。

【0152】このような構造にすることにより、信号磁

界の無い初期状態では、上下磁性膜21、23の非磁性膜22で分離されている部分の磁化は、センス電流や膜形状でトラック幅方向に互いに反平行状態であり、上下磁性膜21、23が結合している部分の磁化は平行である。外部からの信号磁界が流入すると、初期状態で反平行であった非磁性膜22で分離されている部分の磁化が平行となり、抵抗が変化し薄膜磁気ヘッドとしての役割を果たす。また、非磁性膜22が媒体対向面に露出していないため耐蝕性も問題も無い。

【0153】図31(A)は、本発明の第2の発明にかかる他のスピナル型磁気抵抗効果素子を示す。ここで、下磁性膜21に交換結合した軟磁性膜31は、媒体対向面から離れた部分が露出部分に比べてトラック幅方向の寸法が大きい。これにより、軟磁性膜31の磁化はトラック幅方向に向き易くなる。このとき、図31(A)に示すように、軟磁性膜31の両端に隣接して硬質磁性膜36を配置するか、または図31(B)に示すように、硬質磁性膜36あるいは反強磁性膜を両端に積層する等の手段によりバイアスを加えることにより、軟磁性膜31を単磁区化することが容易となる。さらに、前記したように、軟磁性膜31は、分流を抑制できることと、硬質磁性膜や反強磁性膜に対する配向の影響を抑制できること等の理由から、アモルファス膜であることが望ましく、その材料としては例えばCoZrNb等が挙げられる。このとき、寸法が広くなる部分は、角が直角になるよりも丸みを持った曲線であることが単磁区化において好ましい。

【0154】ここで、特に、硬質磁性膜36を軟磁性膜31の両端部に積層する場合においては、硬質磁性膜36からの漏れ磁界を抑制するために、図32に示すように、軟磁性膜31上にのみ積層されることが望ましい。この図32に示すような磁気抵抗効果素子は、図33(A)～(D)に示すようにして作製される。

【0155】図33(A)に示すように、基板20上にCoZrNb等からなる厚さ約15nmの軟磁性膜31、CoFeまたはCo等からなる厚さ約4nmの下磁性膜21、Cu等からなる厚さ約3nmの非磁性膜22、CoFeまたはCo等からなる厚さ約4nmの上磁性膜23、FeMn等からなる厚さ約14nmの反強磁性膜24、厚さ約10nm程度の保護膜15を順次形成する。さらに、保護膜15上の所定部分にレジスト層26をバーニングして形成する。なお、このとき保護膜15は、分流を防ぐために高抵抗である必要があり、さらに後のエッティングを安定して行うことができるものである必要がある。したがって、保護膜15としては、酸化層を作りにくいPd、Pt等の貴金属が適している。また、Ti等からなる保護膜上にPd等からなる膜を積層した多層構造であることが特に好ましい。

【0156】次いで、図33(B)に示すように、下磁性膜21から保護膜15までをイオンビームエッティング

等でエッティングする。次に、図33(C)に示すように、硬質磁性膜36をリフトオフ法で形成する。次いで、軟磁性膜31、保護膜15、21～24、硬質磁性膜36上に、図33(D)に示すような形状のレジスト層26を形成する。その後、イオンビームエッティング等でエッティングし、前述したようにリードをリフトオフ法で形成することにより、図32に示すような構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0157】上記構造において、磁束の吸い込みを考慮すると、図34に示すようなパターン形状のレジスト層26'とすることにより、より高い感度のヘッドを得ることができる。すなわち、図34では、媒体対向面と反対側に多層膜が延出して、この部分で磁壁の発生が予想されるので、硬質磁性膜36部分も媒体対向面と反対側に延出する形状としている。このようなレジスト層26'を用い、イオンビームエッティング等でエッティングし、リードをリフトオフ法で形成することにより、図35に示すような構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0158】上述したように、図32および図34に示す磁気抵抗効果素子は、硬質磁性膜36が軟磁性膜31の上に積層される構造であるが、図36に示すように、硬質磁性膜36を軟磁性膜31の下に積層してもよい。このような構造にすることにより、硬質磁性膜36の配向を制御する下地膜を用いることができる。下地膜としては、例えば、硬質磁性膜36がCoNiまたはCoCrからなる場合Crを用いることが好ましい。

【0159】図36に示す磁気抵抗効果素子は、図37(A)～(C)に示すようにして作製される。まず、図37(A)に示すように、基板20上に硬質磁性膜30を成膜し、所望の形状にバーニングする。次いで、図37(B)に示すように、軟磁性膜31、下磁性膜21、非磁性膜22、上磁性膜23、反強磁性膜24、保護膜15を順次成膜する。次いで、図37(C)に示すように、多層膜を所望の形状にバーニングする。その後、図33(D)や図34に示すように、硬質磁性膜36、軟磁性膜31、および多層膜を一括バーニングすることにより、図36に示す構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

実施例B10

図38は本発明の第2の発明にかかるスピナル型磁気抵抗効果素子にシールド層を組み合わせた場合の実施例を示す断面図である。図14に示すような信号磁界方向にセンス電流を通電する構造のスピナル型磁気抵抗効果素子を作製し、これに図38に示すようにしてシールド層を配置した。このとき、上部シールド層61と媒体対向面側のリード62を接触させ、この電位をアースとし、もう一方のリードを高電位とする。このような構造とすることにより、ヘッド摺動時に媒体と接触した場合でも、電位が乱れることなく、高い信頼性の薄膜磁気ヘッドが得られる。この薄膜磁気ヘッドは、下部シ

ルド層63上に SiO_2 等の絶縁層64を形成し、図14と同様な方法で素子部65を形成し、さらに絶縁層64を形成してバーニングし、最後に上部シールド層61を形成することにより作製される。

実施例B11

本発明の第2の発明にかかるスピナブル型磁気抵抗効果素子の構造上の寸法を図39を参照して説明する。

【0160】この構造においては、信号磁界が0の場合に硬質磁性膜36によって軟磁性膜31の磁化方向を制御しなければならない。したがって、硬質磁性膜36の膜厚、磁化量をそれぞれ t_{hard} 、 M_{shard} とし、軟磁性膜31の膜厚、磁化量を t_{amo} 、 M_{samo} としたとき、 $t_{\text{hard}} \times M_{\text{shard}}$ が $t_{\text{amo}} \times M_{\text{samo}}$ と等しいか、または大きくなるように膜材料や膜厚を適宜選択することが好ましい。

【0161】さらに、この磁気抵抗効果素子を薄膜磁気ヘッドとして用いる場合、ヘッドの先端部が媒体からの信号磁界によって飽和されないように、軟磁性膜31は厚い方がよい。さらに、軟磁性膜31の磁化応答を下磁性膜21に伝えなければならない。したがって、下磁性膜21の信号磁界応答層の膜厚、磁化量をそれぞれ $t_{\text{s.v.}}$ 、 $M_{\text{s.s.v.}}$ とすると、 $t_{\text{amo}} \times M_{\text{samo}}$ が $t_{\text{s.v.}} \times M_{\text{s.s.v.}}$ と等しいかまたは大きくなるように膜材料や膜厚を適宜選択することが好ましい。

【0162】次に、リセス距離cについて説明する。従来、磁気抵抗効果膜としてNiFe単層膜を用いた場合、デブスは特性長と同レベルが良いと考えられていた。しかしながら、本発明の薄膜磁気ヘッドは、巨大磁気抵抗効果を示す多層膜を用いており、抵抗変化率が大きいため、リセス距離cは特性長の数倍程度でもよい。

【0163】一方、突出部分の磁壁発生の抑制を考えると、突出部分は小さい方がよい。すなわち、リセス距離cは小さい方がよい。このため、図39中の多層膜の信号磁界方向の長さaに比べて距離cが等しいか、または小さくなるように寸法を適宜設定することが好ましい。ただし、軟磁性膜31の膜厚を薄くすると、軟磁性膜31の磁壁はネール磁壁となり易くなる。この場合、ネール磁壁は磁壁幅が大きいため、リセス距離cを長くすることができる。

実施例B12

図40(A)は、2つの磁性膜の磁化容易軸が媒体対向面と略平行で、かつセンス電流方向と略直交である本発明の第2の発明にかかる磁気抵抗効果素子の一例を示す斜視図である。図40(A)において、磁性膜71および72は厚さ50nmのCoFe膜からなる。なお、磁性膜72は、その信号磁界方向の長さが磁性膜71の長さより長くなるように形成されている。磁性膜71および72の間には、Cuからなる厚さ数10nmの非磁性膜73が挟持されており、磁気抵抗効果素子を構成している。この多層膜の側面には、リード74および75が接続されており、直流電流が通電可能になっている。

【0164】このような構成においては、どちらの磁性膜71、72の磁化も交換結合による固着はしていない。また、2つの磁性膜71、72には、それぞれの磁化容易軸が互いに略平行に、しかもセンス電流方向とは略直交するように、磁気異方性を付与しておく。

【0165】信号磁界Hが作用しない場合には、2つの磁性膜71、72の磁化 M_1 、 M_2 は、センス電流Iによる磁界の作用で、図40(B)に示す M_1 、 M_2 のように互いに略反平行であって磁化容易軸と略平行な方向に向く。このときの電気抵抗は最も大きい。これに対し、図40(A)に示す矢印方向の信号磁界Hが作用する場合には、磁性膜71、72の磁化 M_1 、 M_2 はそれぞれ図40(B)の M_{1H} 、 M_{2H} のように、互いに逆方向に回転する。すなわち、 M_1 、 M_2 のなす角は180°から図40(B)に示す ϕ (°)まで変化する。信号磁界が強ければ、この角 ϕ は0°に近づき、0°で電気抵抗が最小となる。

【0166】したがって、信号磁界Hにより、磁性膜71、72の磁化 M_1 、 M_2 を略反平行から略平行まで変化させることができ、スピニ存散乱による10%以上の電気抵抗変化のすべてを利用することができる。さらに、CoFe膜の異方性磁気抵抗効果による電気抵抗変化は2%以下であるので、得られる薄膜磁気ヘッドにおいては信号磁界に対する電気抵抗変化を大きく取り出せる。

【0167】なお、2つの磁性膜の磁化を安定化させるためには、磁性膜の端部に現れる磁場がほぼ等量であることが望ましい。このため、2つの磁性膜の飽和磁束密度 M_s と膜厚 t の積がほぼ一致することが望ましい($M_{s1} \cdot t_1 \sim M_{s2} \cdot t_2$)。したがって、 $M_{s1} \cdot t_1 \sim M_{s2} \cdot t_2$ となるように磁性膜の材料・寸法を決定することが好ましい。

【0168】図41(A)は、2つの磁性膜の磁化容易軸が媒体対向面と略平行でかつセンス電流方向と略直交である本発明の第2の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の例を示す斜視図である。この例では、磁気抵抗効果素子の端部に磁性膜からなるフラックスガイド76を取り付けた以外は図40(A)と同じである。この構成によれば、媒体からの信号磁界は、フラックスガイド76を通して磁気抵抗効果素子に導かれる。このフラックスガイド76の材料は、軟磁気特性を示すものであればよく、構造は単層でも多層でもよい。図41(A)および図41(B)では、フラックスガイド76と磁気抵抗効果素子が同じ幅で併置されているようになっているが、両者の幅は異なっていてもよいし、両者の一部が重なり合っていてもよい。また、このようなフラックスガイド76は、磁気抵抗効果素子の媒体と反対側の端部に配置されてもよいし、記録媒体側および記録媒体と反対側の両方に配置されてもよい。また、図40および図41で

は、リード74および75は、磁気抵抗効果素子と同じ厚さで併置されているようになっているが、フラックスガイド76の場合と同様に、両者の厚さは異なっていてもよいし、両者の一部が重なり合っていてもよい。

【0169】図42も本発明の第2の発明の磁気抵抗効果素子の他の例を示したものであり、非磁性導電膜77上に磁性膜72が形成されていること以外は図40

(A)と同じである。非磁性導電膜77を設けた理由は以下の通りである。

【0170】本発明のように薄い磁性膜を有する素子においては、一般に磁性膜の構造は下地膜の種類や結晶構造に敏感である。例えばアルミナスピッタ膜上のNiFe膜は結晶性が悪いが、Cu、Ta、Tiからなる薄い下地膜を設けることにより、fccに配向し易い傾向があることが知られている。また、結晶性が悪い磁性膜は、格子の不規則性に起因する固有の電気抵抗が大きく、このような磁性膜では、全電気抵抗に対するスピニン依存散乱による電気抵抗の割合が小さく、結果としてスピニンの平行、反平行での抵抗変化率が減少してしまう。

【0171】図42に示した磁気抵抗効果素子では、非磁性導電膜77の電気抵抗が小さい場合、センス電流Iが分流されて出力低下を招く恐れがあるが、スピニン依存散乱には膜面垂直方向の電流も寄与するため、非磁性導電膜77の電気抵抗が小さくても全体としての電気抵抗変化が大きくなる場合もある。また、分流した電流により発生する磁界は、2つの磁性膜71、72の磁化方向を互いに略反平行にするように働くため、2つの磁性膜71、72の磁化方向はセンス電流Iによる磁界のみでは互いに略反平行にはなりにくくなるが、反磁界等で2つの磁性膜71、72の磁化方向が略反平行になった場合には、信号磁界に対する電気抵抗変化は大きくとれる。

【0172】図43(A)は、2つの磁性膜の磁化容易軸がセンス電流方向および信号磁界方向と略平行である本発明の第2の発明の磁気抵抗効果素子の一例を示す斜視図である。磁気抵抗効果素子およびリードの構成は図40(A)と同じである。

【0173】信号磁界およびセンス電流による磁界が作用しない場合には、図43(B)に示すように、非磁性膜73を介した磁性膜71および72の交換結合により、2つの磁性膜71、72の磁化M₀₁、M₀₂の方向が互いに略平行であって磁化容易軸方向を向いている。これに対し、センス電流Iを流すと、図43(C)に示すように、2つの磁性膜71、72の磁化方向を互いに逆方向に回転させる電流磁界が発生し、磁性膜71、72の異方性磁界と反磁界等のバランスで2つの磁性膜71、72の磁化M₀₁、M₀₂の互いになす角がある角度φ(°)になったところで安定する。さらに、信号磁界Hが作用すると、磁化M₀₁、M₀₂は信号磁界Hの方向に回転し電気抵抗が変化する。もしφが90°付近であると

すると、電気抵抗変化は弱い信号磁界Hに対しては線形となり、波型歪みが少くなり、信号処理はし易くなる。

【0174】図44、図45は、2つの磁性膜の磁化容易軸が媒体対向面と平行でかつセンス電流方向と略直交である本発明の第2の発明にかかる磁気抵抗効果素子において、磁気抵抗効果素子の動作点を変えるためのバイアス磁界を印加する方法を示す説明図である。

【0175】図44では、2つの磁性膜71および72、並びに非磁性膜73からなる磁気抵抗効果素子は図40(A)と同じであるが、センス電流i_sを通電するリード81が磁気抵抗効果素子と交差する形状となっている。また、これらの磁気抵抗効果素子およびリード81は、シールド層78により挟持されている。このような構成において、センス電流i_sは端子79から供給され、磁気抵抗効果素子を通過し、端子80から出た後磁気抵抗効果素子を横切って磁気抵抗効果素子にバイアス磁界を印加する。この場合、磁気抵抗効果素子とリード81が交差する部分では、電流の作る磁界は磁気抵抗効果素子の磁化困難軸方向に作用する。したがって、2つの磁性膜71、72の磁化方向は反平行ではなく、このバイアス磁界の方向に少し回転する。

【0176】図45は、このバイアス磁界の発生原理を説明した断面図である。端子79、80の幅は磁気抵抗効果素子の長手方向(電流方向)の長さより短く、シールド層78、磁性膜71、73、およびリード81で閉磁路を構成している。これにより、磁界発生効率が良好となる。なお、図中83は記録媒体を示す。

【0177】また、このときシールド層78に挟持されており、磁気抵抗効果素子が埋設されている磁気ギャップ層78'を通常の材料であるAl₂O₃あるいはSiO₂から、熱伝導性に優れ、薄膜形成プロセスに適したことにより、磁気抵抗効果素子に流し得るセンス電流を増加させることができる。これにより、再生出力が大きくなると共に薄膜磁気ヘッドの信頼性および製造における歩留りが向上する。

【0178】下記表1から分かるように、SiC、ダイヤモンド(もしくはダイヤモンド様のカーボン)は、Al₂O₃、SiO₂よりもはるかに熱伝導率が高い材料である。すなわち、磁気抵抗効果素子にセンス電流を流した時の磁気抵抗効果素子の温度上昇を抑えることができる。このことは、磁気抵抗効果素子に流し得る最大センス電流を増加できることを意味する。したがって、センス電流の大きさに比例する再生出力の向上および再生S/Nの改良を実現できる。

【0179】また、SiCやSi₃N₄は、Al₂O₃、SiO₂よりも緻密な膜となるので、絶縁性および平坦性に優れる膜を容易に得ることができる。さらに、SiC、Si₃N₄、ダイヤモンドは、Al₂O₃、SiO₂よりもエッティングし易いため、高精度

の薄膜プロセスが可能となる。その結果、薄膜磁気ヘッドの信頼性が向上し、製造における歩留りが向上する。

【0180】

【表1】

材料	常温での熱伝導率 (W/m · deg)
SiO ₂	1.4
Al ₂ O ₃	21~26
SiC	58.6~117
ダイヤモンド	660

実施例C1

以下の実施例C1では、他の磁性膜よりも大きい幅を持つ磁性膜のトラック幅方向の反磁界が小さくなり、また、硬質磁性膜等によりトラック幅方向にバイアス磁界が印加されるので、この磁性膜の磁化をトラック幅方向に向けることができる。

【0181】また、この磁性膜の厚みが変化する部分から漏洩磁界を発生させることができ、その磁界が他の磁性膜の端部に印加されるので他の磁性膜のエッジカーリングウォールも取り除くことができる。

【0182】よって、トラック幅が小さくなり素子幅が小さくなてもエッジカーリングウォールをなくし、再生出力の低下をなくすことができる。

【0183】図46は、本発明の第3の発明にかかる磁気抵抗効果素子を示す斜視図である。図中90は基板を示す。基板90上には、CoZrNb等からなる強磁性膜91が形成されている。強磁性膜91上には、NiFe等からなる下磁性膜92、CuあるいはAl₂O₃等からなる非磁性膜93、およびNiFe等からなる上磁性膜94が順次形成されている。下磁性膜92、非磁性膜93、および上磁性膜94は、強磁性膜91の幅よりも小さい幅となるようにエッチングによりパターニングされている。

【0184】また、上磁性膜94上には、Cu/Cr等からなるリード95a、95bが形成されている。また、基板90上であって強磁性膜91の両側には、CoPt等からなる硬質磁性膜96が形成されている。

【0185】このような構成の磁気抵抗効果素子において、センス電流はリード95bより入り、95aより流れ出ており、強磁性膜91と下磁性膜92にはx方向の電流磁界が印加され、上磁性膜94には-x方向の電流磁界が印加される。また、硬質磁性膜96はx方向に磁化されており、さらに強磁性膜91、下磁性膜92、上磁性膜94はx軸に略平行な方向に磁化容易軸が誘導されている。

【0186】この磁気抵抗効果素子においては、図49に示すように、強磁性膜91にはx方向の強いバイアス磁界H_Bが印加されることになり、その磁化M₁はx方向を向く。下磁性膜92の磁化M₂はセンス電流による磁界のみならず強磁性膜91の磁化M₁と交換結合する

ため、同様にx方向を向く。さらに、下磁性膜92の端部92aに漏洩磁界Hが発生し、これが上磁性膜94に印加されることになる。その大きさは上磁性膜94のトラック幅方向の中央では、ほぼ下磁性膜92の反磁界と同じになり、H_d ~ 4πM_s * t / wと与えられる。ここで、M_sは下磁性膜92の飽和磁化、tはその厚さ、wはx軸に略平行な方向（トラック幅方向）の幅である。例えば、4πM_s = 10000ガウス、t = 100オングストローム、w = 1 μmの場合、H_d ~ 100エルステッドの大きさとなる。当然のことながら、上磁性膜94の端部においてはもっと大きな磁界となる。したがって、上磁性膜94の磁化M₃は、電流磁界と下磁性膜92からの磁界Hのため-x方向を向き、エッジカーリングウォールも小さくなり、中央部の磁化もx軸に平行なものとなる。

【0187】なお、図47に示すように、下磁性膜92をトラック幅方向に延出させ、かつ非磁性膜93と上磁性膜94の下部を他の部分よりも厚く形成してもよく、図48に示すように、硬質磁性膜96を下磁性膜92上に直接形成してもよい。

実施例C2

以下の実施例C2~C6では、2つの磁性膜の形状をそれぞれ変える。具体的に、2つの磁性膜の反磁界の最小方向がそれぞれ略直交するようとする。そのため、反強磁性膜や高保磁力膜等により一方もしくは双方の磁性膜にバイアス磁界を印加しなくとも、互いに略直交方向に磁化が向いて安定となる。したがって、センス電流や記録媒体との摩擦によって発熱が生じても、磁化はそれぞれ安定方向を向いたままで互いに略直交の関係は損なわれない。

【0188】また、スピニ依存散乱による抵抗変化は、2つの磁性膜が積層された領域でしか起こらない。したがって、CoやCo₉₀Fe₁₀膜等のように、異方性磁気抵抗効果の小さい材料を選択すれば、リードの配置によらず、積層幅でトラック幅を規定することができる。

【0189】図50に示すように、基板100上にCo₉₀Fe₁₀からなる強磁性膜101を厚さ8nmで形成し、これを2 μm × 20 μmの寸法の矩形状にパターニングした。次に、強磁性膜101の中央部に、Co₉₀Fe₁₀からなる磁性膜103を厚さ8nmで形成し、2 μm × 2.

μm の寸法の矩形状にパターニングする。次いで、Cuからなる非磁性膜102を厚さ3nmで形成し、さらにCo₉₀Fe₁₀からなる磁性膜103を厚さ8nmで形成した。統いて、この非磁性膜102および非磁性膜102上の磁性膜103を $2\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の寸法の矩形状に、その長手方向が強磁性膜101の長手方向と略直交するようにしてパターニングした。次いで、強磁性膜101の端部上にCuを厚さ200nmで形成し、パターニングしてリード104を形成した。このようにして磁気抵抗効果素子を作製した。このとき、強磁性膜101と

$$\text{抵抗変化率} = (\text{最大抵抗値} - \text{飽和抵抗値}) / \text{飽和抵抗値} \quad \dots (3)$$

図51から分かるように、信号磁界が0の場合において、動作点バイアスが良好に印加されている。抵抗変化率の挙動は、信号磁界方向と上層の磁性膜103の磁化方向が略平行である場合には、信号磁界の増加につれて抵抗変化率は減少する。一方、信号磁界方向と上層の磁性膜103の磁化方向が略反平行である場合には、信号磁界の増加につれて抵抗変化率は増加する。例えば、信号磁界が約6kA/mで上層の磁性膜103の磁化反転が発生し、抵抗変化率はほぼ0に低下する。なお、図52に示す磁気抵抗効果素子は、上層の磁性膜103の一端面が、強磁性膜101の側面と同一面上となるT字型の構造であるが、この強磁性膜101と上層の磁性膜103とは、略直交に交差する十字型の構造でも同じ効果を發揮できる。

実施例C 3

図52に示すように、基板100上にCo₉₀Fe₁₀からなる強磁性膜101を厚さ8nmで形成し、これを $2\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の寸法の矩形状にパターニングし、その中央部上にCo₉₀Fe₁₀からなる磁性膜103を厚さ8nmで形成し、 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ の寸法の矩形状にパターニングした。次に、成膜装置に設置したヘルムホルツコイルにより4kA/mの静磁界を発生させて、パターニングされた強磁性膜101の短辺方向と一致させた。次いで、静磁中で全面に、Cuからなる非磁性膜102を厚さ3nmで、Co₉₀Fe₁₀からなる磁性膜103を厚さ8nmで形成し、さらにFeMnからなる反強磁性膜105を厚さ15nmで形成した。この後、非磁性膜102、非磁性膜102上の磁性膜103、および反強磁性膜105を $2\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の寸法の矩形状に、その長手方向が強磁性膜101の長手方向と略直交するようにしてパターニングした。次いで、強磁性膜101の端部上にCuを厚さ200nmで形成し、パターニングしてリード104を形成した。このようにして磁気抵抗効果素子を作製した。このとき、強磁性膜101と上層の磁性膜103の磁化容易軸の方向は矢印で示したように略直交しており、強磁性膜101と下層の磁性膜103とは交換結合している。

【0192】この磁気抵抗効果素子の抵抗変化率の信号磁界依存性を図53に示す。図53から分かるように、

上層の磁性膜103の磁化容易軸の方向は矢印で示したように略直交しており、強磁性膜101と下層の磁性膜103とが交換結合している。

【0190】この磁気抵抗効果素子の抵抗変化率の信号磁界依存性を図51に示す。なお、抵抗変化率は、下記式(3)により算出した。また、信号磁界はセンス電流の通電方向に略直交する方向、すなわち強磁性膜101の長手方向と略直交する方向に流入する。

【0191】

信号磁界が0の場合においては、磁性膜103の磁化が互いに略直交して動作点バイアスが印加されている。信号磁界を負の方向へ増加させると、反強磁性膜105により上層の磁性膜103に交換バイアスが印加されているため、約12kA/mまで上層の磁性膜103では磁化反転が生じず、2つの磁性膜の磁化は互いに略反平行状態を保っていることが確認できる。一方、信号磁界を正の方向に増加させると、互いに磁化方向が略平行になることで抵抗変化率は減少する。

【0193】なお、ここで、反強磁性膜105の代わりにCoPt等からなる硬質磁性膜を用いる場合、硬質磁性膜を上層の磁性膜103の長手方向に沿って磁化することにより同様の効果が得られる。

実施例C 4

実施例C 3では、磁性膜の磁化を固着するのに反強磁性膜や硬質磁性膜を用いているが、図54に示すようなリード配置を構成して電流磁界を利用することも可能である。すなわち、強磁性膜101と上層の磁性膜103および非磁性膜102の積層膜と、強磁性膜101との積層膜と、が下層の磁性膜103を挟持するようにして、しかも略直交するようにして積層する。さらに、強磁性膜101および上層の磁性膜103の両端部にリード104を図54に示すように形成して、強磁性膜101と上層の磁性膜103および非磁性膜102の積層膜のそれぞれにセンス電流I_sのほぼ半分(I_s/2)が流れるようにする。

【0194】このような構成を有する磁気抵抗効果素子では、強磁性膜101に流れるセンス電流で、上層の磁性膜103は図中M₂の方向に磁化される。一方、上層の磁性膜103および非磁性膜102に流れる電流で強磁性膜101は図中M₁の方向に磁化される。すなわち、それぞれの電流によって、磁化が互いに略直交方向に向き易くなる。したがって、センス電流を分流して略直交方向に流すことにより誘起された電流磁界は、強磁性膜101と上層の磁性膜103との磁化を略直交させて動作点バイアスを安定化する。

実施例C 5

実施例C 2において使用された強磁性膜または磁性膜として、単層の膜ではなく、磁性膜と非磁性膜との積層膜

を使用しても同様の効果が現れた。例えば、実施例C 2における $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Cu}3\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}$ 多層膜を $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Cu}3\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{ML 1}, \text{ML 1}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Cu}3\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{ML 1}$ としても同様の効果が得られた。ただし、ML 1は、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}1\text{nm}/(\text{Cu}0.6\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}1\text{nm}) \times n$ ($n=6$) の積層膜を意味する。なお、ML 1における $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ を5nm程度に厚くして $n=1$ としても同様に効果があった。実施例C 6

実施例C 3において使用された強磁性膜として、単層の膜ではなく、磁性膜と非磁性膜との積層膜を使用しても同様の効果が現れた。例えば、実施例C 3における $\text{FeMn}15\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Cu}3\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}$ 多層膜において、 $\text{FeMn}15\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{Cu}3\text{nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}8\text{nm}/\text{ML 1}$ としても同様の効果が得られた。ただし、ML 1は、実施例C 5と同じである。また、ML 1における $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ を5nm程度に厚くして $n=1$ としても同様に効果があった。

実施例D 1

図5 5は本発明の第4の発明において磁性膜数が多数である場合の一実施例を示す概略図である。この磁気抵抗効果素子は、基板上に3つの磁性膜1 3 1, 1 3 2, 1 3 3が非磁性膜1 3 4, 1 3 5を介して積層されており、信号磁界が0の時に、磁性膜1 3 1, 1 3 3と磁性膜1 3 2の磁化の向きは、弱いRKKY的な相互作用等によって略反平行となっている。

【0195】この多層膜の両側には、隣接してバイアス磁界印加用の硬質磁性体としての永久磁石1 3 6 a, 1 3 6 bが配置されており、磁性膜1 3 1, 1 3 3と略同一方向に磁化されている。このため、磁性膜1 3 1, 1 3 2, 1 3 3に略同一方向の磁界 H_{ext} を印加している。さらに、磁性膜1 3 1, 1 3 2, 1 3 3は、それらが強磁性体なので、他の各磁性膜に対して静磁界を印加している。

【0196】図5 6 (A) ~図5 6 (C) は、それぞれ磁性膜1 3 1, 1 3 2, 1 3 3に対して加えられる磁界の方向と強さを模式的に表したものである。磁性膜1 3 1, 1 3 3に対しては永久磁石からの磁界 H_{ext} と磁性膜1 3 2からの静磁界 H_{21}, H_{23} が磁化方向と略同一方向に加わる。また、磁性膜1 3 1, 1 3 3からの静磁界 H_{31}, H_{13} が磁化方向と略反対方向に加わるが、 $H_{21} > H_{31}, H_{23} > H_{13}$ なので磁性膜1 3 1, 1 3 3には磁化方向と略同一方向にバイアス磁界が印加される。

【0197】これに対して、磁性膜1 3 2の場合、磁化方向が磁性膜1 3 1, 1 3 3の磁化方向と略反平行であるために、 H_{ext} が磁化方向と略反対方向に加わる。しかしながら、磁性膜1 3 1, 1 3 3からの静磁界 $H_{12},$

H_{32} は H_{ext} と略反対方向に加わるため、永久磁石の発生する磁界 H_{ext} の強さと、永久磁石と多層膜の距離を調節し ($H_{ext} < H_{12} + H_{32}$) することにより、磁性膜1 3 2にも磁化方向と略同一方向のバイアス磁界を印加することができる。

【0198】なお、磁性膜の数が奇数の場合、信号磁界が0の場合の磁化の反平行状態の安定化のためには、センス電流を磁性膜の磁化方向と略平行な方向に流すことが好ましい。

実施例D 2

図5 7は本発明の第4の発明にかかる磁気抵抗効果素子について、各磁性膜の磁化方向を説明するための概略図である。この磁気抵抗効果素子は、基板上に4つの磁性膜1 3 7, 1 3 8, 1 3 9, 1 4 0が非磁性膜1 4 1, 1 4 2, 1 4 3を介して積層されており、磁性膜1 3 7, 1 3 9と磁性膜1 3 8, 1 4 0の磁化方向は信号磁界が0の時に互いに略反平行状態になっている。この多層膜に対し各磁性膜の磁化方向と略直交方向にセンス電流を通電すると、センス電流による電流磁界が各磁性膜の磁化方向に対して略同一方向または略反対方向に加わる。

【0199】図5 8 (A) ~図5 8 (D) は、このときそれぞれ磁性膜1 3 7, 1 3 8, 1 3 9, 1 4 0に対して加えられる磁界の方向と強さを模式的に表したものである。磁性膜1 3 7に対しては磁性膜1 3 8, 1 3 9, 1 4 0、非磁性膜1 4 1, 1 4 2, 1 4 3に流れる電流による磁界 H_{j6} が磁化と略同一方向に加わり、静磁界は磁性膜1 3 8, 1 4 0からの磁界 H_{21}, H_{41} が略同一方向に、磁性膜1 3 9からの磁界 H_{31} が略反対方向に加わり、 $H_{21} > H_{31} > H_{41}$ であるので、磁性膜1 3 7にかかる磁界の総和は磁化方向と略同一方向になる。磁性膜1 3 8に対しては、磁性膜1 3 7、非磁性膜1 4 1に流れる電流による磁界 H_{j2} が略同一方向に、磁性膜1 3 9, 1 4 0、非磁性膜1 4 2, 1 4 3に流れる電流による磁界 H_{j4} が略反対方向に加わり ($H_{j2} < H_{j4}$)、静磁界は H_{12}, H_{32} が略同一方向、 H_{42} が略反対方向に加わる ($H_{12}, H_{32} > H_{42}$)。したがって、センス電流の大きさや多層膜の寸法比を調節することによって、磁性膜1 3 8にかかる磁界の総和も磁化方向と略同一方向となる。このとき対称性により、磁性膜1 3 9は磁性膜1 3 8、磁性膜1 4 0は磁性膜1 3 7にかかる磁界と同じ大きさの磁界が略反対方向にかかり、それぞれの磁化方向も略反対方向なので、磁化方向と略同一方向にバイアス磁界を印加することができる。

【0200】ここで、本発明の第4の発明においては、上述したように磁性膜数が偶数の場合、多層膜の磁化の略反平行状態をより安定させるために、図5 9に示すように、バイアス磁界印加用の硬質磁性体として垂直磁化膜1 4 4 a, 1 4 4 bが多層膜の両側に隣接して配置される。そして、最上層の磁性膜1 4 0と最下層の磁性膜

137は、その磁化方向と略同一方向に垂直磁化膜144a, 144bからの磁界 H_{ext} が加わるような向きに垂直磁化膜144a, 144bが磁化されている。具体的には、最上層の磁性膜140と最下層の磁性膜137と垂直磁性膜144a, 144bの磁化方向が図59に示すような時計回りあるいは反時計回りの関係を満足すればよい。

実施例E 1

図60は、本発明の第5の発明の一実施例を示す斜視図である。図67において、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の多層膜が短冊状にパターニングされている。このとき、積層膜の短辺がトラック幅に相当する。

【0201】センス電流(図中 I_s)は、多層膜の長手方向に流れる。その電流磁界で、下磁性膜151および上磁性膜153は互いに略反平行状態に磁化される。センス電流 I_s は、多層膜の中央に設けられたリード154aから入り、二方向に分流して端部に設けられたりード154b, 154cから出て行く。そのため、中央のリード154aを境にして、磁気抵抗効果素子に流れる電流方向が逆になるため、下磁性膜151および上磁性膜153の磁化方向はその中央のリード154aを境にして略反平行になる。すなわち、図中、破線矢印で示した磁化 M_1 と M_2 、および M_3 と M_4 は、それぞれ上下で組になっているが、同じ磁性膜で磁化 M_1 と M_3 、 M_2 と M_4 は互いに略反平行になる。そのため、同じ磁性膜で磁区を形成して静磁エネルギーを低下させる。その結果、上下磁性膜の磁化方向を略反平行状態にするのに必要なセンス電流を小さくできる。

【0202】また、信号磁界は多層膜の短辺方向から流入してくる。そのため、上下磁性膜のアスペクト比が大きいほど、反磁界が減少する形状となるため、飽和磁界が減少して信号磁界に対する感度が向上する。したがって、上下磁性膜の信号磁界方向の長さを長く設定するほど感度は向上する。しかも、この上下磁性膜の磁化は、上述したように上下磁性膜の長手方向にわたってセンス電流が流れることで安定化する。

【0203】さらに、このとき、図61に示すように、電流が流入するリード154aを延ばして、上下磁性膜と分流させることにより、その電流磁界で動作点バイアスを加えることも可能である。図68中、流入する電流を I_s として、上下磁性膜を流れる電流を I_{s1} と I_{s2} とし、動作点バイアス用に I_{s2} を分流した。

【0204】この実施例E 1に示す構造は、当然ながらヨークを用いて磁束を流入するタイプの磁気抵抗効果素子にも適用できる。また、実施例E 1に示す磁気抵抗効果素子においては、例えば以下に示すような方法により上下磁性膜のエッジカーリングウォールを取り除くことができる。

【0205】まず、図62は、エッジカーリングウォールを抑制するために、磁荷が現れる磁性膜の端部近傍に

FeMn からなる反強磁性膜155を形成した磁気抵抗効果素子の断面図である。すなわち、この磁気抵抗効果素子は、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の多層膜の端面近傍に反強磁性膜155を配置した構造である。それぞれの膜厚は、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10} 8 \text{ nm}/\text{Cu} 3 \text{ nm}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10} 8 \text{ nm}$ である。この積層状態で磁気抵抗効果素子はスピンドルバブル構造となり、スピンドル依存散乱による抵抗変化が発生する。また、反強磁性膜155は厚さ15nmで形成されており、センス電流は、信号磁界方向に通電される。なお、図62中150は基板を示す。

【0206】このとき、上下磁性膜の磁化方向は、電流磁界によって図中 M_1 と M_2 の矢印に示したように、それぞれ略反平行となるが、電流磁界が印加されるだけでは磁性膜の端面に磁荷が発生して、その反磁界によりエッジカーリングウォールが生じる。この場合、図62に示すように上磁性膜153の端部近傍に配置された反強磁性膜155と上磁性膜153が交換結合することにより、上磁性膜153の端部近傍の磁化が固着される。その結果、さらに上磁性膜153と下磁性膜151との間で静磁結合が生じるため、直接反強磁性膜155に接していない下磁性膜151でも端部近傍の磁化は端面を向きやすくなる。その結果、エッジカーリングウォールの発生が抑制され、磁気抵抗効果素子の感度低下を防ぐことができる。なお、この構造は、本発明の第5にかかる磁気抵抗効果素子以外にも広く適用が可能である。

【0207】次に、上下磁性膜の磁束を環流させることによって、エッジカーリングウォールによる磁性膜の特性劣化を抑制する例について説明する。すなわち、ここでは、図63に示すように、下磁性膜151の端面を覆うような形状の磁性積層膜を作製することにより、磁束の環流は起こりやすくなる。図63は、積層膜の短辺側から見た断面図であり、センス電流は信号磁界方向に流れようになっている。

【0208】このような構造を作製する場合、まず、図63(A)に示すように、基板150上に下磁性膜151として $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 膜を形成し、パターニングする。次いで、図63(B)に示すように、非磁性膜152として Cu 膜および上磁性膜153として $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 膜を全面に順次形成する。最後に、これを再度パターニングして、下磁性膜151端面を非磁性膜152および上磁性膜153が覆う構造の磁気抵抗効果素子が得られる。

【0209】図中矢印に示されるように、センス電流により上磁性膜153および下磁性膜151は互いに略反平行に磁化され、下磁性膜151の端面まで覆う上磁性膜153により磁束は導かれ、上下磁性膜151, 153を環流する。なお、この構造は、スピンドル依存散乱および異方性磁気抵抗効果を用いる場合の両方に有用である。

【0210】また、上述した図63においては、まず、

下磁性膜151をバーニングし、次いで非磁性膜152および上磁性膜153をバーニングすることにより、下磁性膜151の端面を覆う構造の磁気抵抗効果素子を形成した。以下の図64においては、一回のバーニングで作製する例について説明する。

【0211】図71は一回のバーニングで作製された磁気抵抗効果素子を示す断面図である。なお、ここでは、本発明の第5の発明にかかる磁気抵抗効果素以外のセンス電流方向と信号磁界方向が略直交する磁気抵抗効果素子について、図63と同様にエッジカーリングウォールを抑制した例を示す。まず、基板150上にリード154を形成し、リード間でトラック幅を規定する。この上に下磁性膜151／非磁性膜152／上磁性膜153を順次形成する。この実施例においては、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の積層膜とした。最後に、この積層膜をバーニングする。

【0212】トラック部分の積層膜は、リード154と接触する部分で折れ曲がる形状となる。この折れ曲がった部分で、磁化は磁荷を発生して静磁エネルギーを上昇させる。その結果、上下磁性膜間で磁束が環流する静磁結合が生じ、磁化的略反平行状態を作り出す。

【0213】さらに、図65は、再び本発明の第5の発明のように、信号磁界方向にセンス電流を流すタイプの磁気抵抗効果素子において、同様に段差や凹凸で磁性積層膜の磁化の略反平行状態を作り出す例について説明する。図65において、基板150上に磁気抵抗効果素子のセンス電流方向と平行な方向に沿って溝156が形成されている。なお、ここでも下磁性膜151／非磁性膜152／上磁性膜153は $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 積層膜とした。

【0214】磁気抵抗効果素子は、紙面において奥に向かって伸びており、信号磁界は紙面に対して垂直方向に出入りする。センス電流 I_s は、リード154を通り、図の左側から供給されてくる。そして、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 積層膜を紙面において奥に向かって流れに行く。したがって、この構造を本発明の第5の発明に適用した場合、先の図61に示した磁気抵抗効果素子とは異なり、磁気抵抗効果素子に流れる電流は、長手方向にわたってすべて同方向となる。ただしこのときも電流磁界により、上下磁性膜は、図中矢印のように略反平行方向に磁化される。この上下磁性膜における磁化は、溝156により形成されている段差の部分で磁束を環流し静磁結合を行う。したがって、端面が露出している構造よりも、磁荷が現れないためエッジカーリングウォールの発生に伴う磁気抵抗効果特性の劣化が抑制できる。

実施例F

図66（A）は本発明の第6の発明にかかる磁気抵抗効果素子の一実施例を示す。この磁気抵抗効果素子は、 NiFe 等からなる磁性膜161、 Cu 等からなる非磁性

膜162、 NiFe 等からなる磁性膜163、 FeMn 等からなる反強磁性膜164、および Ta 等からなる保護膜165が順次形成されてなるものである。なお、磁性膜163の磁化は、反強磁性膜164の交換バイアスにより固定されている。また、保護膜165上には、リード166が形成されている。上記構成を有する磁気抵抗効果素子においては、信号磁界 H_{ox} が0の場合で磁性膜161、163および反強磁性膜164の磁化方向は図66（B）に示すようになる。

【0215】次に、上記磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドの使用方法について説明する。ここでは、磁気抵抗効果素子には、 $10^6 \sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ 程度の高電流密度のセンス電流を通電する。このセンス電流による電流磁界の強さは、前述のように 100e 程度のオーダーとなり、ここで用いられた反強磁性膜のネール温度やブロッキング温度が $150 \sim 300^\circ\text{C}$ 程度であるため、センス電流による発熱によりその一方向性が乱れ、磁化固定ができないくなる。実際に、 $60 \sim 90^\circ\text{C}$ 程度の温度で長時間動作させると、交換結合力が劣化した。

【0216】図67は、センス電流の大きさと抵抗変化率との関係を示すグラフである。センス電流が図66

（B）中において $-x$ 方向に通電される場合、すなわち電流磁界が反強磁性膜の一方向性と同一方向に働く場合（a）には、高電流密度でも抵抗変化率は維持される。

これに対して、センス電流が図66（B）中において x 方向に通電される場合、すなわち電流磁界が反対方向に働く場合（b）には、 10^6 A/cm^2 程度でも低下する。すなわち、センス電流の方向は、反強磁性膜の一方向性と略同一方向に磁界を発生するように選択する必要があることが分かる。

【0217】

【発明の効果】以上説明した如く本発明の薄膜磁気ヘッドは以下に示す効果を奏する。すなわち、本発明の第1の発明によれば、トラック幅を厳密に規定でき、オフトラック時の隣接トラックからのクロストークの影響が小さく、しかもリードとのオーミックコンタクトも良好な磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【0218】本発明の第2の発明によれば、感度が良好で、しかも安定した出力が得られる磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【0219】本発明の第3の発明によれば、エッジカーリングウォールがなく、大きな出力が得られる磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【0220】本発明の第4の発明によれば、バルクハウゼンノイズの少ない、3層以上の磁性膜を有する磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【0221】本発明の第5の発明によれば、センス電流が信号磁界方向に通電されても感度が良好で、かつ発熱によるジョンソンノイズの小さい磁気抵抗効果素子を具

備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【022】本発明の第6の発明によれば、大電流が通電されても発熱による抵抗変化率の低下がほとんどない、磁化固定膜を有する磁気抵抗効果素子を具備した薄膜磁気ヘッドが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)～(C)は第1の発明の一実施例を示す斜視図。

【図2】(A)～(D)は第1の発明の他の実施例を示す斜視図。

【図3】(A)～(E)は第1の発明にかかる磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図4】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の一実施例を示す斜視図。

【図5】(A)～(C)は図4に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図6】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図7】(A)～(C)は図6に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図8】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図9】(A)～(C)は図8に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図10】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図11】(A)～(C)は図10に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図12】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図13】(A)～(C)は図12に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図12】第2の発明の薄膜磁気ヘッドの他の実施例を示す斜視図。

【図13】(A)～(C)は図12に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図14】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図15】(A)～(C)は図14に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図。

【図16】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図17】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図18】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図19】(A)～(D)は図18に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図、(E)は磁気抵抗効果素子を示す平面図。

【図20】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗

効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図21】(A), (B)はCoPt硬質磁性膜の結晶性を示すX線回折結果を示す特性図。

【図22】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図23】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図24】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図25】図24に示す磁気抵抗効果素子の平面図。

【図26】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図27】第2の発明にかかるヨークタイプ型再生ヘッドを示す側面図。

【図28】第2の発明にかかる垂直記録方式用ヘッドを示す側面図。

【図29】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図30】(A)～(C)は図29に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図31】(A), (B)は第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図および平面図。

【図32】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図33】(A)～(C)は図32に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図、(D)は図32に示す磁気抵抗効果素子の平面図。

【図34】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の作製工程を示す平面図。

【図35】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す平面図。

【図36】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図37】(A)～(C)は図36に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図。

【図38】第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す断面図。

【図39】(A), (B)は第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の寸法を説明するための斜視図および平面図。

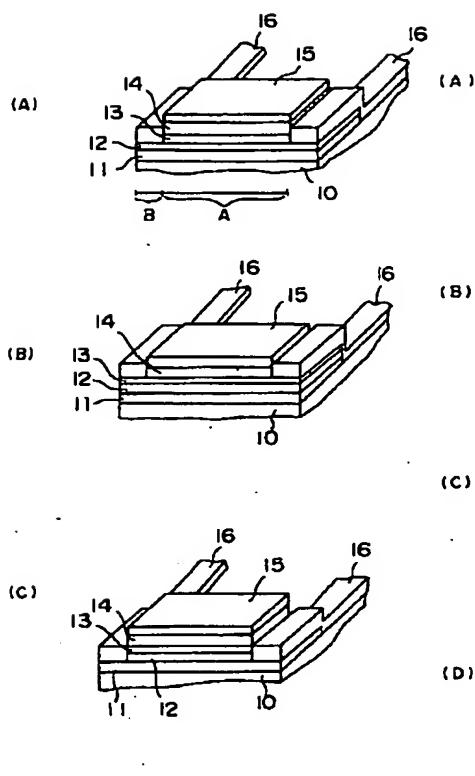
【図40】(A)は第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図、(B)は磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図41】(A)は第2の発明にかかるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図、(B)は磁性膜の磁化方向を示す概略図。

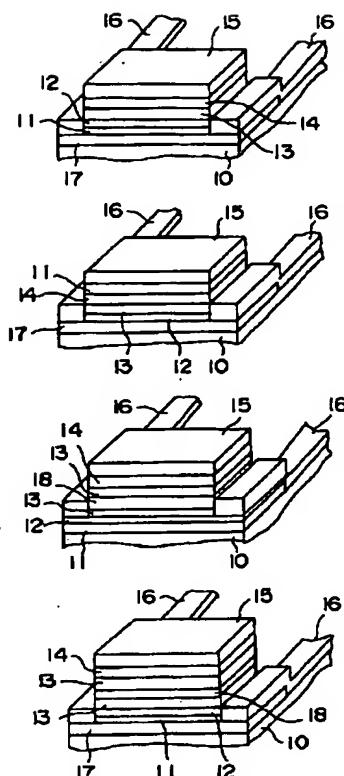
【図42】第2の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図43】(A)は第2の発明にかかる磁気抵抗効果素

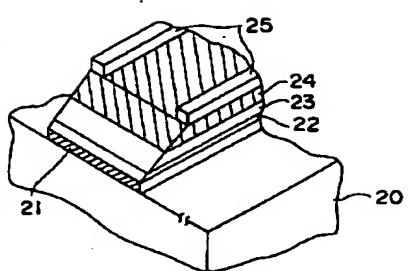
【図1】



【図2】

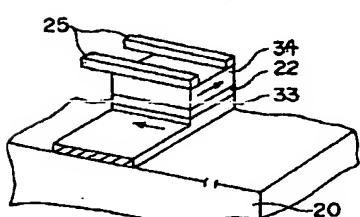
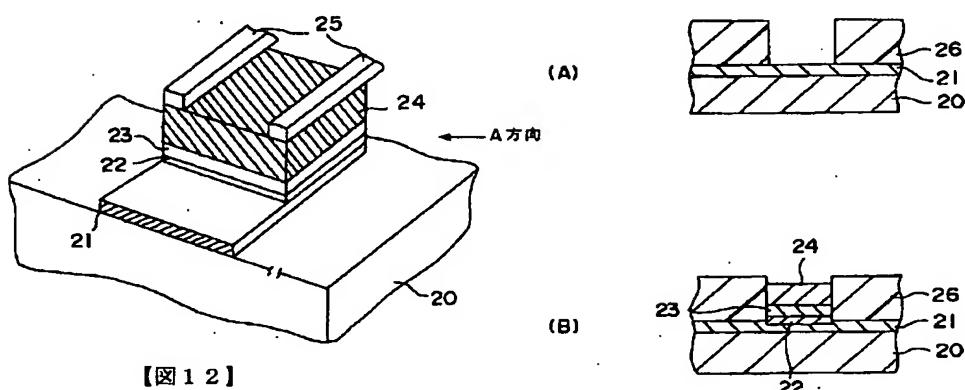


【図6】

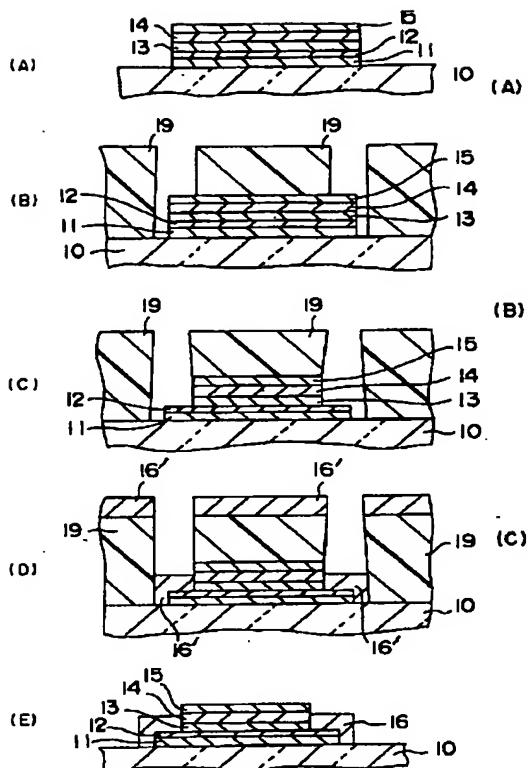


【図4】

【図5】

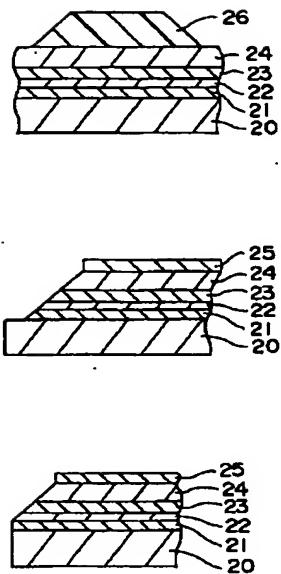


【図3】

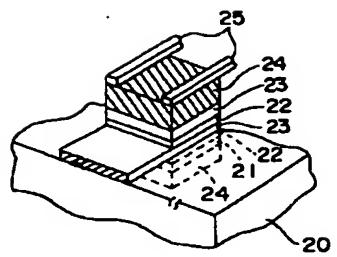


【図9】

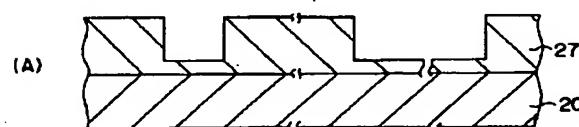
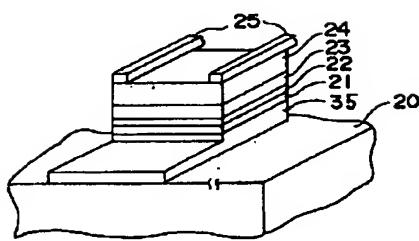
【図7】



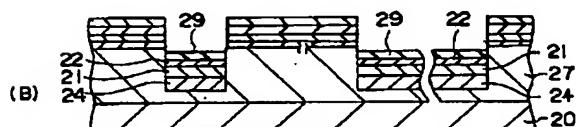
【図8】



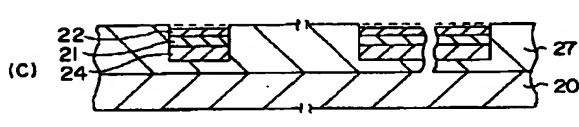
【図10】



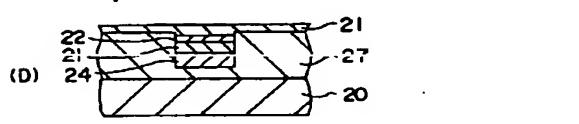
【図11】



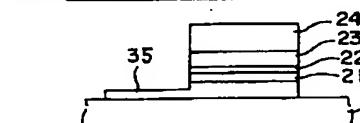
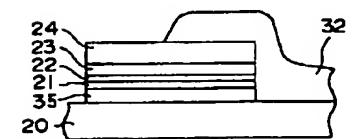
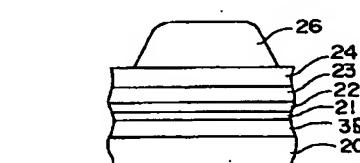
(A)



(B)



(C)



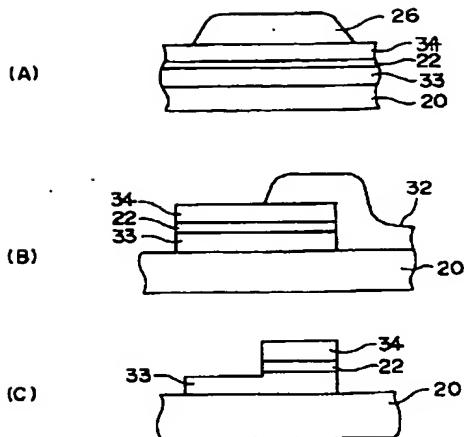
(C)

(B)

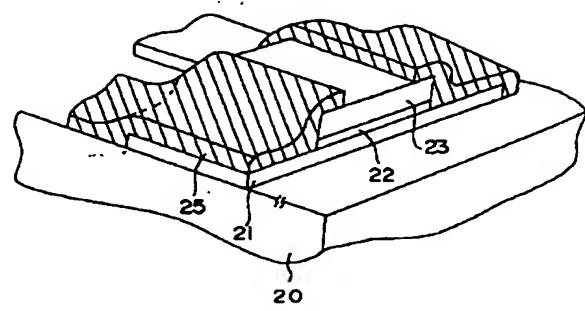
(A)

(C)

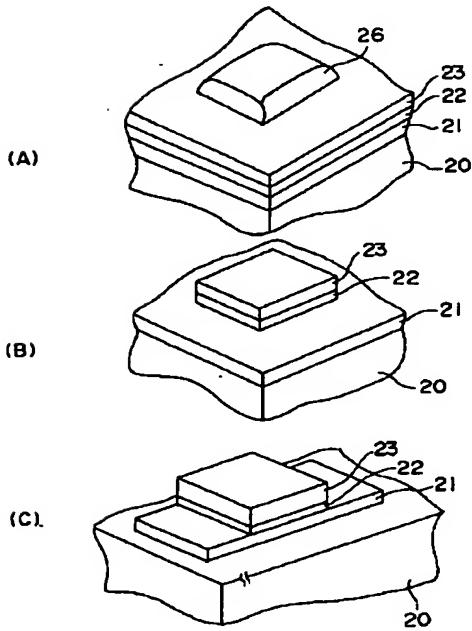
【図13】



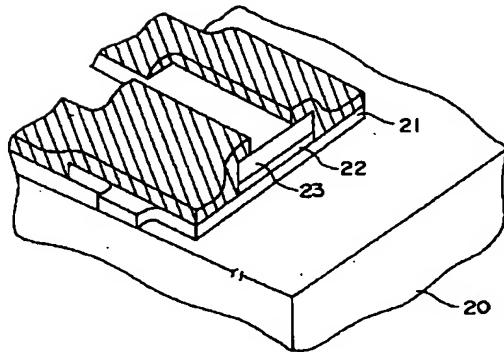
【図14】



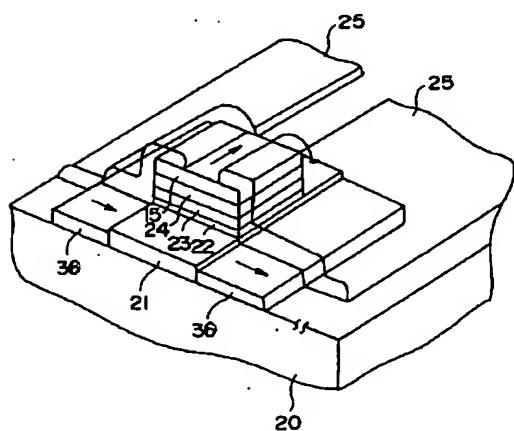
【図15】



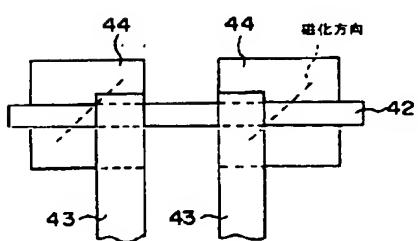
【図17】



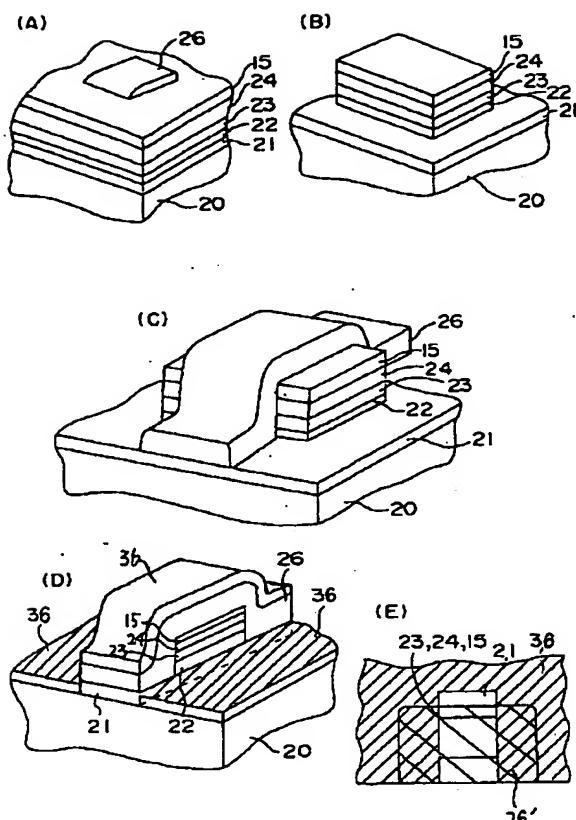
【図18】



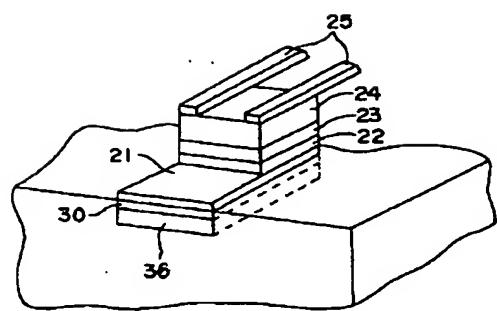
【図25】



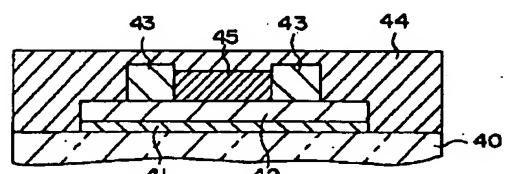
【図19】



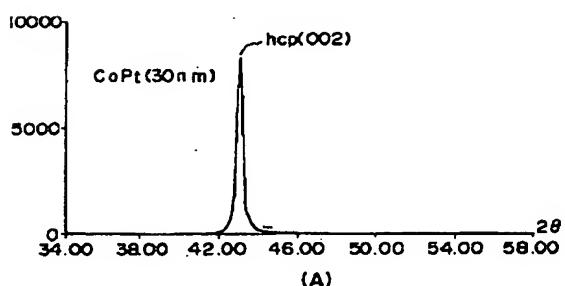
【図20】



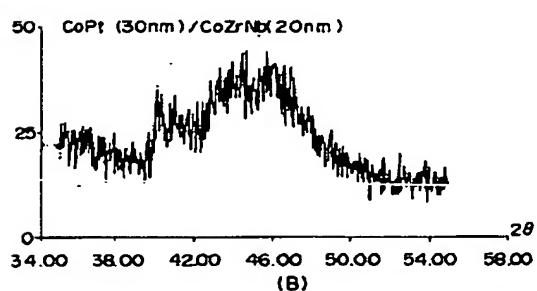
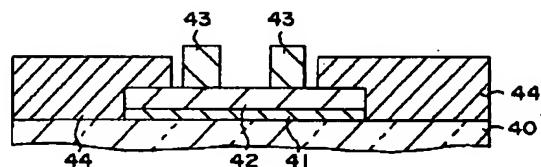
【図23】



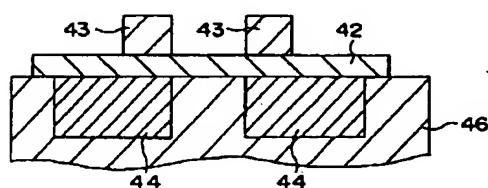
【図21】



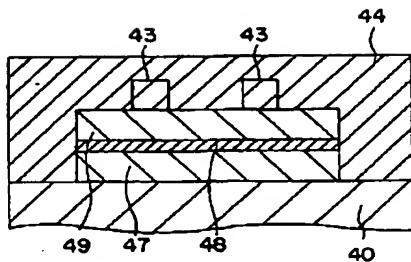
【図22】



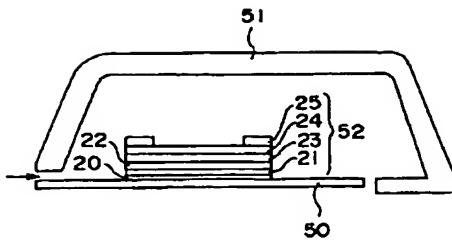
【図24】



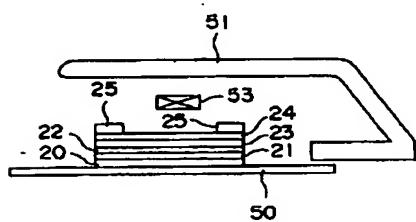
【図 26】



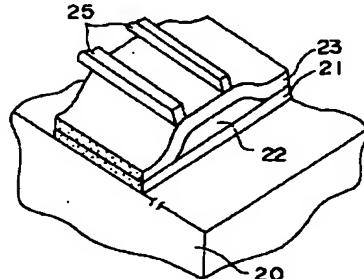
【図 27】



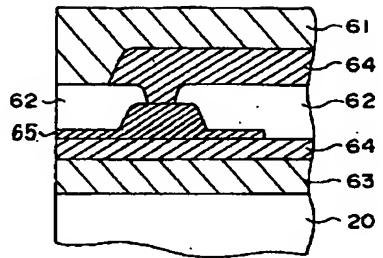
【図 28】



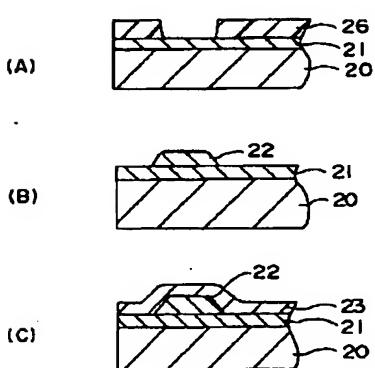
【図 29】



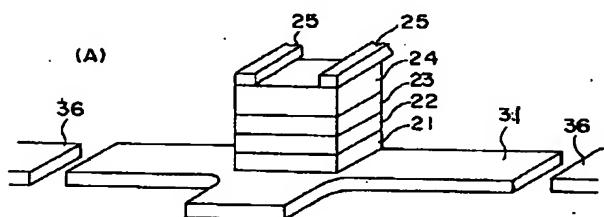
【図 38】



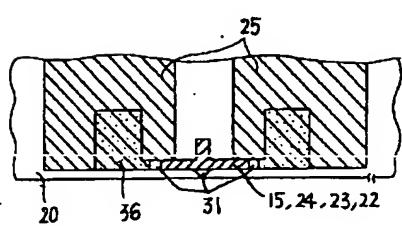
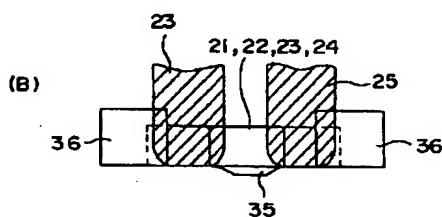
【図 30】



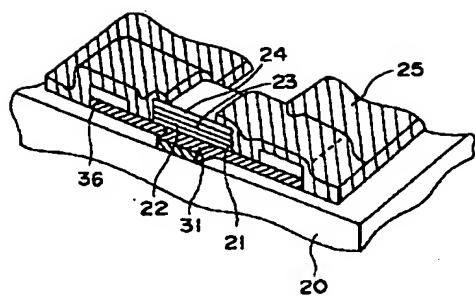
【図 31】



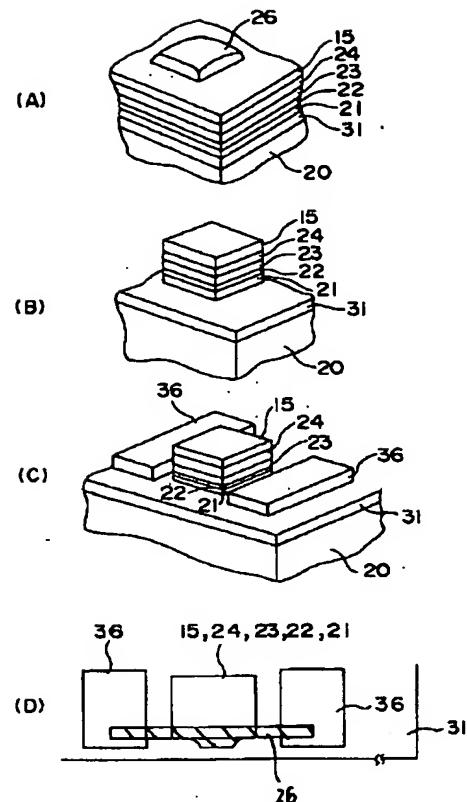
【図 35】



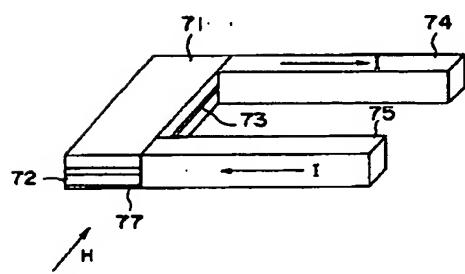
【図32】



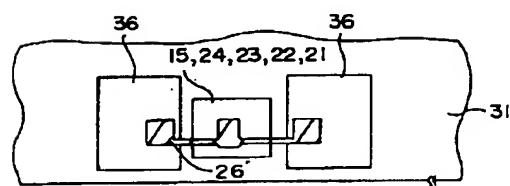
【図33】



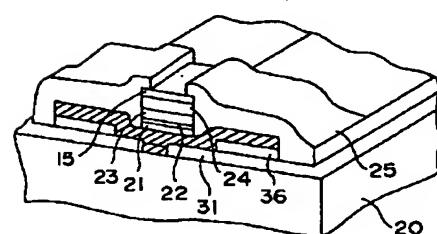
【図42】



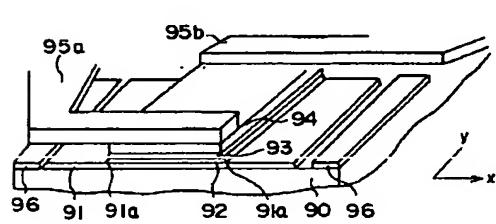
【図34】



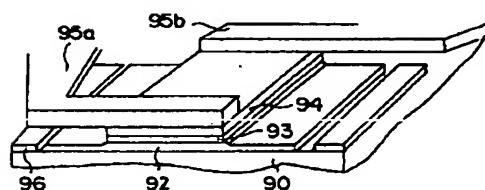
【図36】



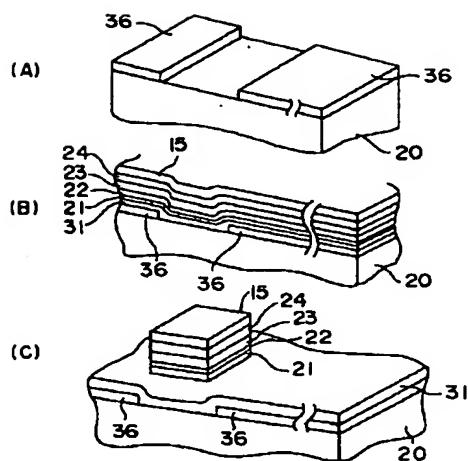
【図46】



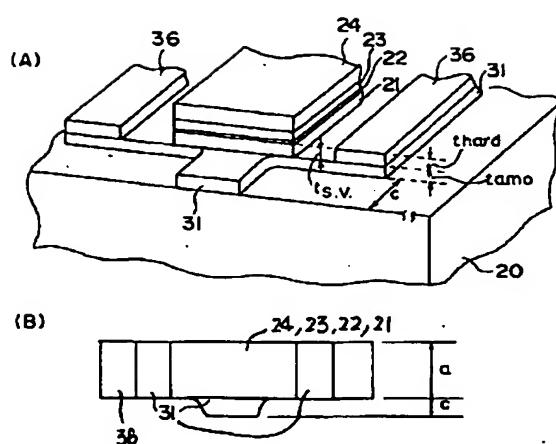
【図47】



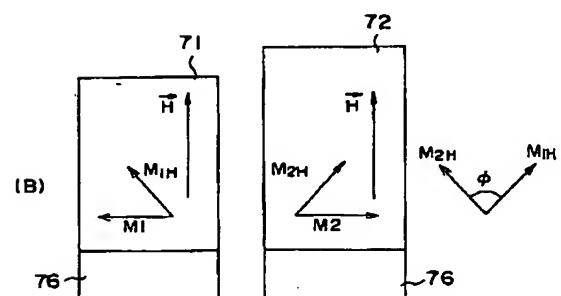
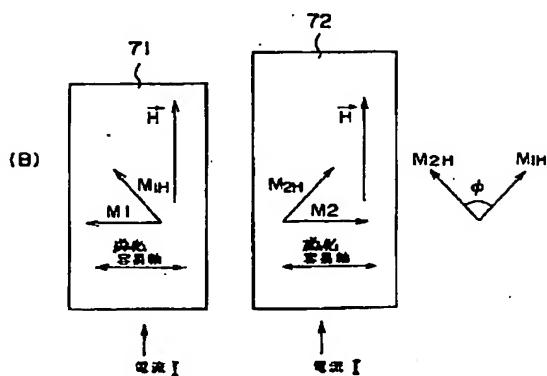
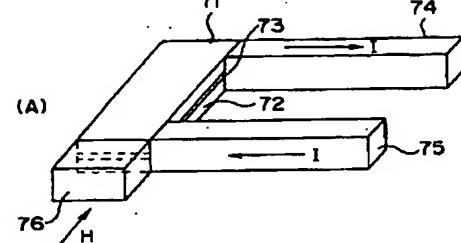
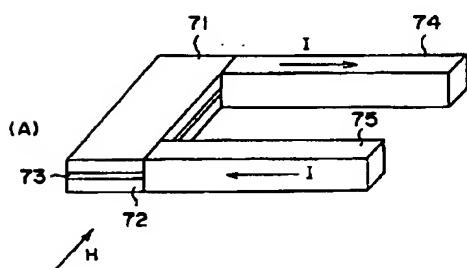
【図37】



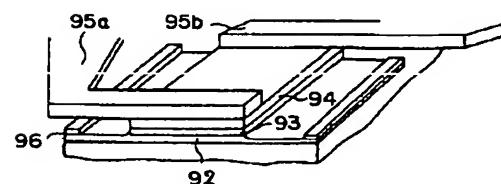
【図39】



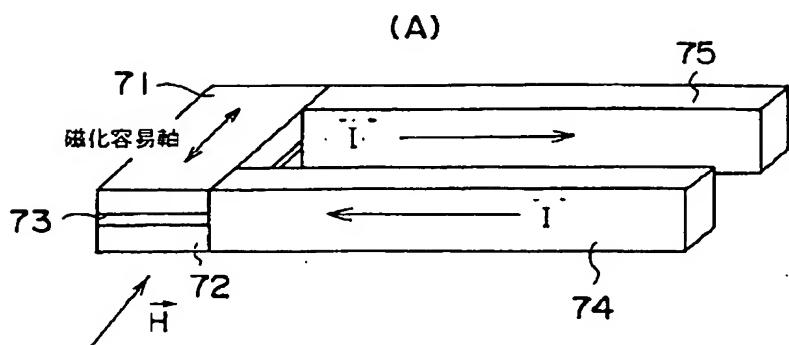
【図40】



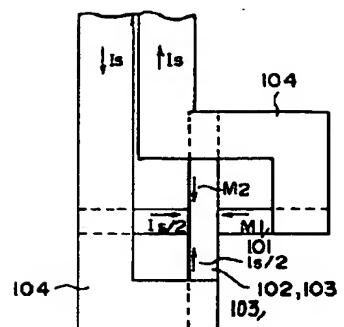
【図48】



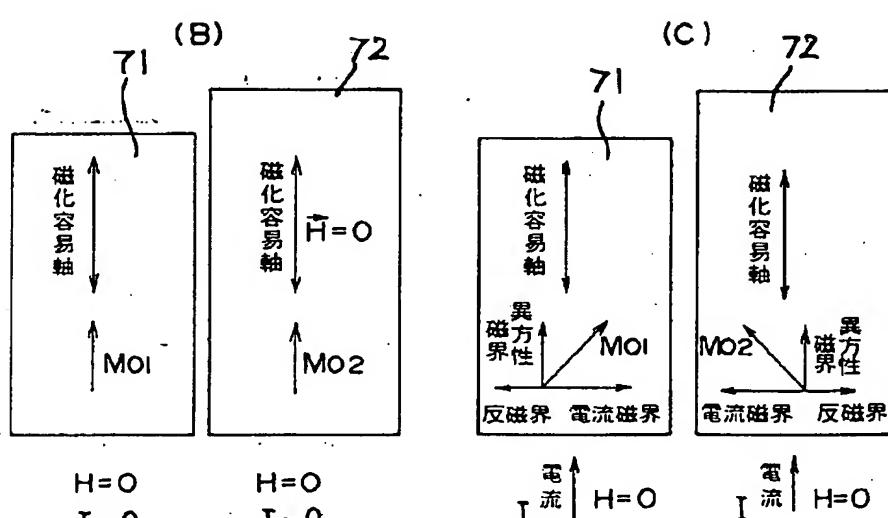
【図43】



【図54】

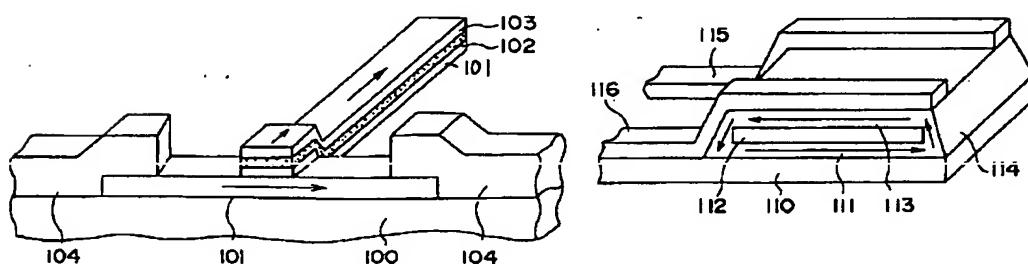


【図58】

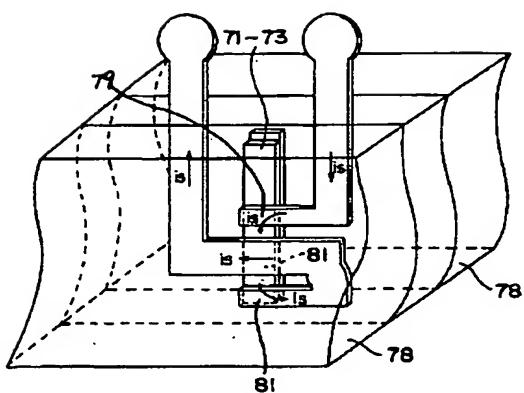


【図50】

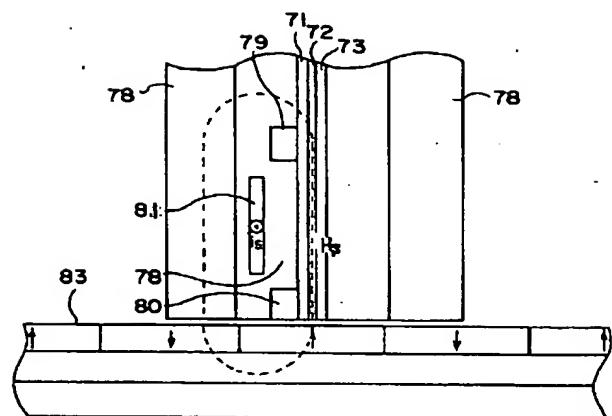
【図55】



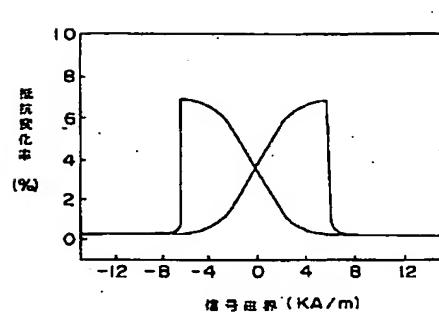
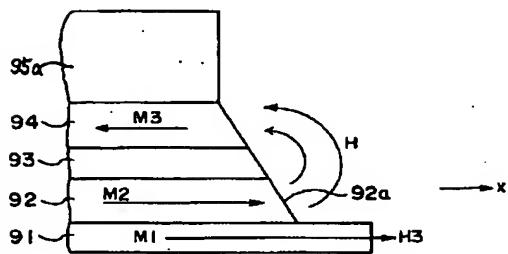
【図44】



【図45】

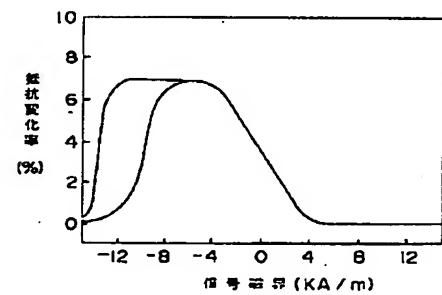
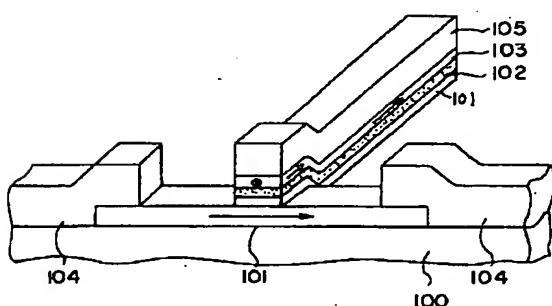


【図49】

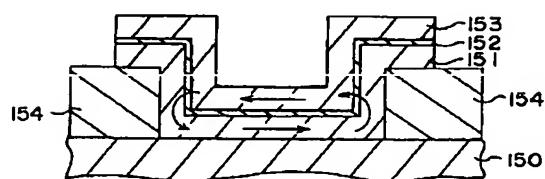


【図53】

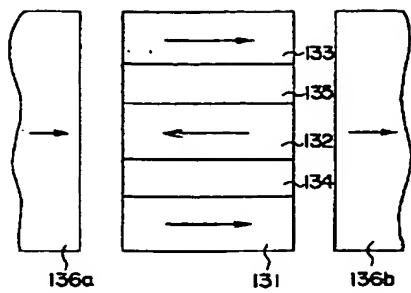
【図52】



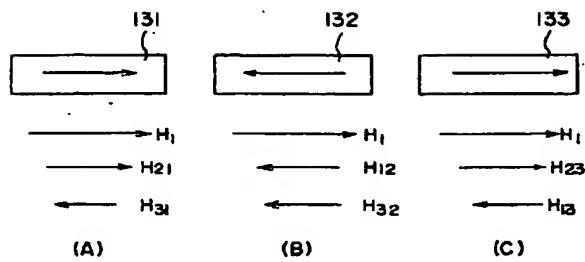
【図64】



【図 5 6】

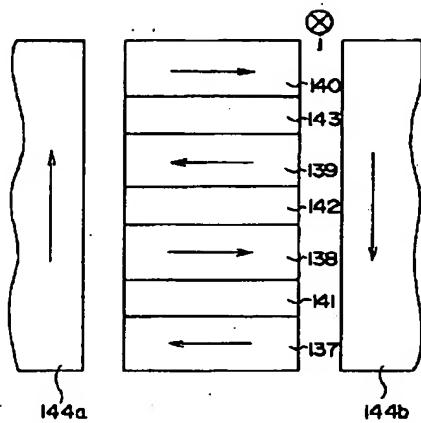
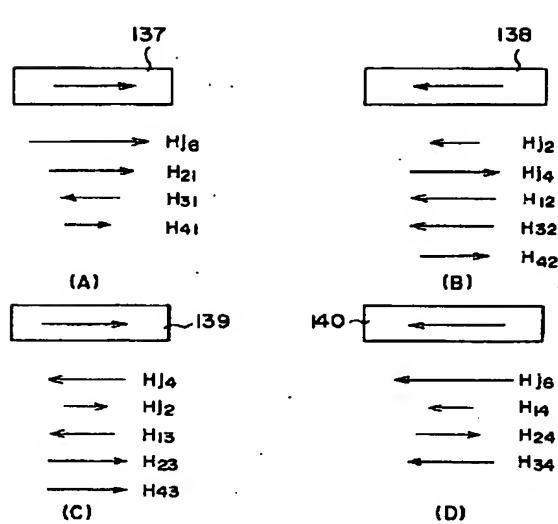


【図 5 7】

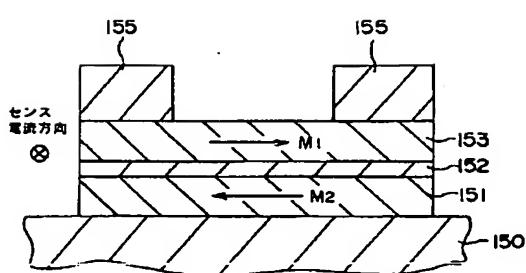


【図 6 0】

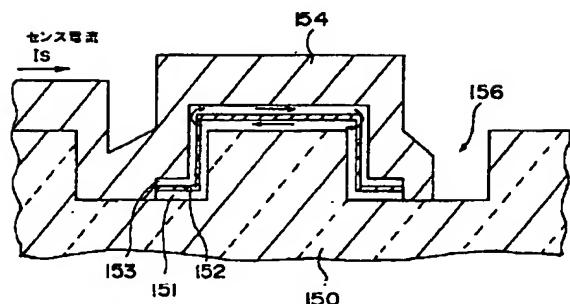
【図 5 9】



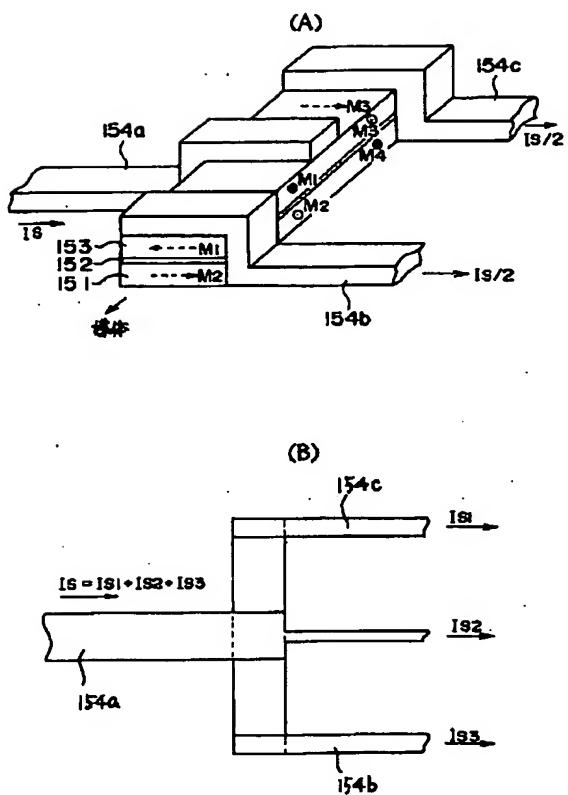
【図 6 2】



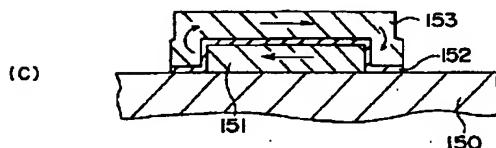
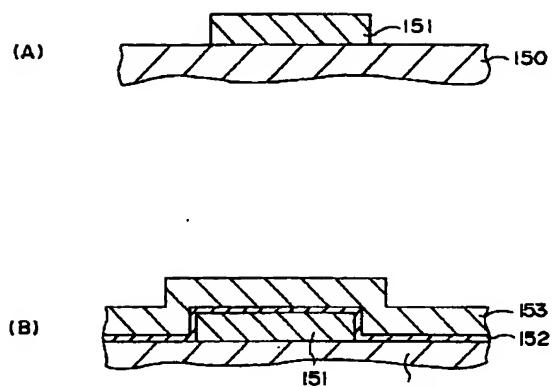
【図 6 5】



【図61】

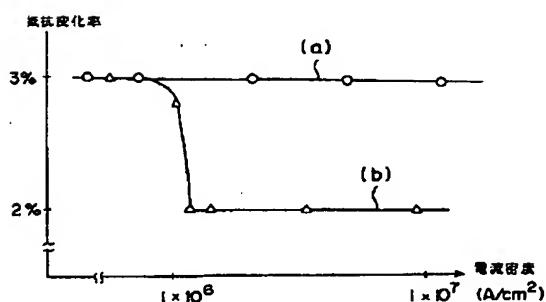


【図63】

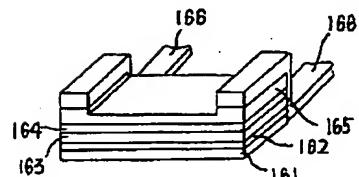
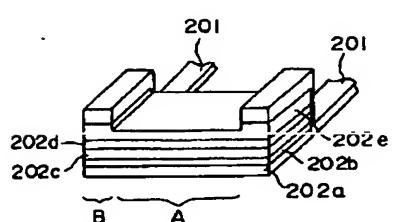


【図66】

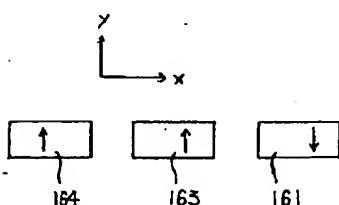
【図67】



【図68】

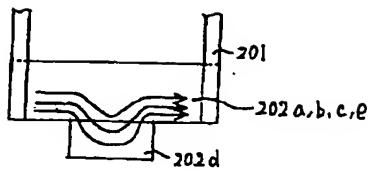


(A)

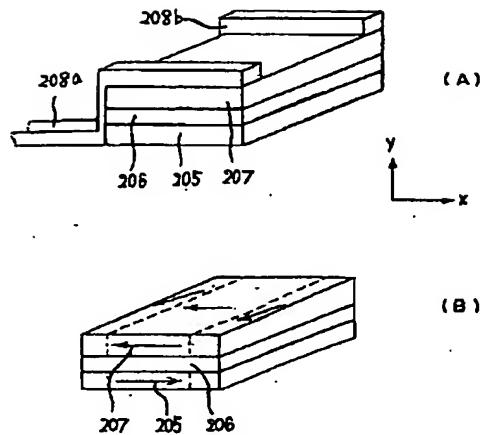


(B)

【図 6 9】



【図 7 0】



【手続補正書】

【提出日】平成 6 年 4 月 11 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図 1】(A)～(C)は第 1 の発明の一実施例を示す斜視図。

【図 2】(A)～(D)は第 1 の発明の他の実施例を示す斜視図。

【図 3】(A)～(E)は第 1 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 4】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の一実施例を示す斜視図。

【図 5】(A)～(C)は図 4 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 6】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 7】(A)～(C)は図 6 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 8】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 9】(A)～(D)は図 8 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 10】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 11】(A)～(C)は図 10 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 12】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 13】(A)～(C)は図 12 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 14】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 15】(A)～(C)は図 14 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図。

【図 16】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 17】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 18】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 19】(A)～(D)は図 18 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図、(E)は磁気抵抗効果素子を示す平面図。

【図 20】第 2 の発明にかかるスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 21】(A), (B)はCoPt硬質磁性膜の結晶性を示すX線回折結果を示す特性図。

【図 22】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図 23】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図 24】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図 25】図 24 に示す磁気抵抗効果素子の平面図。

【図 26】硬質磁性膜として高保磁力微粒子層を有する磁気抵抗高か素子を示す断面図。

【図 27】第 2 の発明にかかるヨークタイプ再生ヘッドを示す側面図。

【図 28】第 2 の発明にかかる垂直記録方式用ヘッドを

示す側面図。

【図 2 9】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 3 0】(A)～(C)は図 2 9 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す断面図。

【図 3 1】(A), (B)は第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図および平面図。

【図 3 2】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 3 3】(A)～(C)は図 3 2 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図、(D)は図 3 2 に示す磁気抵抗効果素子の平面図。

【図 3 4】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の作製工程を示す平面図。

【図 3 5】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す平面図。

【図 3 6】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 3 7】(A)～(C)は図 3 6 に示す磁気抵抗効果素子の作製工程を示す斜視図。

【図 3 8】第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す断面図。

【図 3 9】(A), (B)は第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の寸法を説明するための斜視図および平面図。

【図 4 0】(A)は第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図、(B)は磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図 4 1】(A)は第 2 の発明にかかるスピナルブ型磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図、(B)は磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図 4 2】第 2 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 4 3】(A)は第 2 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図、(B), (C)は磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図 4 4】第 2 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 4 5】第 2 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す断面図。

【図 4 6】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の一実施例を示す斜視図。

【図 4 7】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 4 8】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 4 9】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子において磁化方向を説明するための概略図。

【図 5 0】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の

実施例を示す斜視図。

【図 5 1】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子における信号磁界と抵抗変化率との関係を示すグラフ。

【図 5 2】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 5 3】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子における信号磁界と抵抗変化率との関係を示すグラフ。

【図 5 4】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す平面図。

【図 5 5】第 3 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の他の実施例を示す斜視図。

【図 5 6】第 4 の発明の一実施例を示す概略図。

【図 5 7】(A)～(C)は図 5 6 に示す磁気抵抗効果素子の磁性膜の磁界の方向と強さを模式的に表した図。

【図 5 8】第 4 の発明にかかる磁気抵抗効果素子の磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図 5 9】(A)～(D)は図 5 8 に示す磁気抵抗効果素子の磁性膜の磁界の方向と強さを模式的に表した図。

【図 6 0】第 4 の発明の他の実施例を示す概略図。

【図 6 1】(A)は第 5 の発明の一実施例を示す斜視図、(B)は第 5 の発明にかかる磁気抵抗効果素子のリードを示す平面図。

【図 6 2】磁束を還流させた磁性積層膜の一例を示す断面図。

【図 6 3】(A)～(C)は図 6 2 に示す磁性積層膜の作製工程を示す断面図。

【図 6 4】磁束を還流させた磁性積層膜の他の例を示す断面図。

【図 6 5】磁束を還流させた磁性積層膜の他の例を示す断面図。

【図 6 6】(A)は第 6 の発明にかかる磁気抵抗効果素子を示す斜視図、(B)は(A)に示す磁気抵抗効果素子における磁性膜および反強磁性膜の磁化方向を示す概略図。

【図 6 7】第 6 の発明にかかる磁気抵抗効果素子のセンス電流の大きさと抵抗変化率との関係を示すグラフ。

【図 6 8】従来の磁気抵抗効果素子を示す斜視図。

【図 6 9】従来の磁気抵抗効果素子を部分的に示す平面図。

【図 7 0】(A), (B)は従来の磁気抵抗効果素子を示す斜視図。

【符号の説明】

1 0, 2 0, 4 0, 9 0, 1 0 0, 1 1 0, 1 5 0…基板、1 1, 2 4, 1 0 5, 1 5 5, 1 6 4…反強磁性膜、1 2, 2 1, 3 3, 4 7, 9 2, 1 1 1, 1 5 1…下磁性膜、1 3, 2 2, 3 7, 4 8, 9 3, 1 0 2, 1 1 2, 1 3 4, 1 3 5, 1 4 1, 1 4 2, 1 4 3, 1 6 2…非磁性膜、1 4, 2 3, 3 4, 4 9, 9 4, 1 1 3, 1 2 0, 1 5 3…上磁性膜、1 5, 1 6 5…保護膜、1 6, 2 5, 4 3, 6 2, 7 4, 7 5, 8 1, 9 5

a, 95 b, 104, 154, 154 a, 154 b, 154 c, 166…リード、17…下地膜、18…中間磁性膜、19…逆テーパレジスト、26, 26', 32…レジスト層、27…SiO₂膜、28, 156…溝、29…ポリシリコン膜、30…磁気的絶縁層、31…軟磁性膜、35, 35 a, 35 b…アモルファス膜、36, 125, 126…硬質磁性膜、41…シャントバイアス膜、42…磁気抵抗効果膜、44…高保磁力微粒子層、45…磁気的絶縁膜、46…シリコン基板、50…軟磁

性体、51…軟磁性ヨーク、52…電子部、53…記録用コイル、61…上部シールド層、63…下部シールド層、64…絶縁層、71, 72, 103, 131, 132, 133, 137, 138, 139, 140, 161, 163…磁性膜、73…導電膜、76…ブラックスガイド、77…非磁性導電膜、78…シールド層、79, 80…端子、83…記録媒体、91, 101…強磁性膜、92 a…端部、96…硬質磁性膜、136 a, 136 b…永久磁石、144 a, 144 b…垂直磁化膜。

フロントページの続き

(72) 発明者 近藤 玲子
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 岩崎 仁志
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第4区分

【発行日】平成13年3月16日(2001.3.16)

【公開番号】特開平6-325329

【公開日】平成6年11月25日(1994.11.25)

【年通号数】公開特許公報6-3254

【出願番号】特願平5-351052

【国際特許分類第7版】

G11B 5/39

【F I】

G11B 5/39

【手続補正書】

【提出日】平成12年3月30日(2000.3.30)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果ヘッド、磁気記録再生装置、磁気抵抗効果素子の使用方法および磁気抵抗効果ヘッドの使用方法

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号磁界が印加されると磁化方向が変化する磁化自由膜と、信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する磁化固着膜と、前記磁化自由膜と前記磁化固着膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続された電極であって、前記磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検知するための電流を、前記電流によって発生する磁界の前記磁化固着膜における磁界方向が前記磁化固着膜の前記磁化方向と略同一となるように前記磁気抵抗効果膜へ付与する一対の電極を備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記磁化固着膜に接して反強磁性膜が設けられていることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記電流が $10^6 A/cm^2$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記磁化固着膜および前記反強磁性膜は互いに交換結合していることを特徴とする請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記電流は、前記磁化固着膜と前記反強

磁性膜との界面において前記電流により発生する磁界方向が、前記磁化固着膜の前記磁化方向と略平行になるよう通電されることを特徴とする請求項1ないし4いずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 信号磁界が印加されると磁化方向が変化する磁化自由膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する磁化固着膜と、前記磁化自由膜と前記磁化固着膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続され、前記磁気抵抗効果膜へ前記磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検知するための電流を付与する一対の電極を備える磁気抵抗効果素子を具備し、前記電流によって発生する磁界の前記磁化固着膜における磁界方向が、前記磁化固着膜の前記磁化方向と略同一となるように設定されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項7】 信号磁界が印加されると磁化方向が変化する磁化自由膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する磁化固着膜と、前記磁化自由膜と前記磁化固着膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続され、前記磁気抵抗効果膜へ電流を付与する一対の電極を備える磁気抵抗効果素子を具備し、

前記電流によって発生する磁界の前記磁化固着膜における磁界方向が、前記磁化固着膜の前記磁化方向と略同一となるように設定されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項8】 前記磁化固着膜に接して反強磁性膜が設けられていることを特徴とする請求項6または7に記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項9】 前記磁気抵抗効果素子を挟む、1対のギャップ層および1対のシールド層を有することを特徴とする請求項6または7に記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項10】 前記電流が $10^6 A/cm^2$ 以上であることを特徴とする請求項6または7に記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 11】 前記磁化固定膜および前記反強磁性膜は互いに交換結合していることを特徴とする請求項8記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 12】 前記電流は、前記磁化固定膜と前記反強磁性膜との界面において前記電流により発生する磁界方向が、前記磁化固定膜の前記磁化方向と略平行になるように通電されることを特徴とする請求項6ないし11いずれかに記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 13】 磁気情報が記録された磁気記録媒体と、

前記磁気記録媒体に記録された磁気情報を再生する磁気抵抗効果ヘッドであって、信号磁界が印加されると磁化方向が変化する磁化自由膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する磁化固定膜と、前記磁化自由膜と前記磁化固定膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続され、前記磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検知する電流を供給する一対の電極を備えた磁気抵抗効果ヘッドを搭載し、

前記電流によって発生する磁界の前記磁化固定膜における磁界方向が前記磁化固定膜の前記磁化方向と略同一となるように設定されていることを特徴とする磁気記録再生装置。

【請求項 14】 前記磁化固定膜に接して反強磁性膜が設けられていることを特徴とする請求項13に記載の磁気記録再生装置。

【請求項 15】 前記電流が 10^6 A/cm^2 以上であることを特徴とする請求項13に記載の磁気記録再生装置。

【請求項 16】 前記磁化固定膜および前記反強磁性膜は互いに交換結合していることを特徴とする請求項14に記載の磁気記録再生装置。

【請求項 17】 前記電流は、前記磁化固定膜と前記反

強磁性膜との界面において前記電流により発生する磁界方向が、前記磁化固定膜の前記磁化方向と略平行になるように通電されることを特徴とする請求項13ないし16いずれかに記載の磁気記録再生装置。

【請求項 18】 第一磁性膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する第二磁性膜と、前記第一及び第二磁性膜の間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記磁気抵抗効果膜に実質的に接続され、前記磁気抵抗効果膜へ電流を供給する一対の電極を備えた磁気抵抗効果素子により前記信号磁界を検出するにあたって、前記電流により発生する磁界の第二磁性膜における磁界方向が前記第二磁性膜の前記磁化方向と略同一となるように電流を付与して前記磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検知することを特徴とする磁気抵抗効果素子の使用方法。

【請求項 19】 第一磁性膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する第二磁性膜と、前記第一及び第二磁性膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続され、前記磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検知する電流を付与する一対の電極を具備する磁気抵抗効果素子に、前記電流によって発生する磁界の前記第二磁性膜における磁界方向が前記第二磁性膜の前記磁化方向と略同一となるように前記電流を付与することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの使用方法。

【請求項 20】 第一磁性膜と、前記信号磁界が印加されても磁化方向を実質的に保持する第二磁性膜と、前記第一及び第二磁性膜との間に挟持された非磁性膜とを備える磁気抵抗効果膜を具備する磁気抵抗効果素子に、前記磁気抵抗効果膜へ流す電流によって発生する磁界の前記第一磁性膜における磁界方向が前記第二磁性膜の前記磁化方向と略同一となるよう前記電流を付与することを特徴とする磁気抵抗効果ヘッドの使用方法。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.